

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**SW komponenty pro kamerový systém založený na
vývojovém prostředí LabVIEW a digitálních kamerách Basler a
JAI**

**Vision System Software Based on LabVIEW and Digital
Cameras Basler and JAI**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Řepka**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612T059 Mobilní technologie

Téma: SW komponenty pro kamerový systém založený na vývojovém prostředí
LabVIEW a digitálních kamerách Basler a JAI
Vision System Software Based on LabVIEW and Digital Cameras
Basler and JAI

Zásady pro vypracování:

- 1) Teoretický rozbor implementace podpory digitálních kamer pro rozhraní IEEE-1394 a GigE
- 2) Návrh SW komponent pro zpracování obrazu určeného ke kontrole kvality výrobků
- 2) Návrh optické soustavy a výběr prvků kamerového systému
- 3) Implementace SW komponent do aplikace pro zpracování obrazu
- 4) Instalace a oživení vyvinuté softwarové aplikace na platformě průmyslového PC
- 5) Zhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Klinger, Thomas: Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision, National Instruments, ISBN 978-0130474155, 2003
2. Travis, Jeffrey; Kring, Jim: LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun, Prentice Hall, 3-rd Edition, ISBN 0-13-185672-3, 2007

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Židek, CSc.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 07.05.2013



.....
podpis studenta

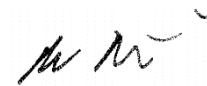
Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce a všem kolegům za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské/diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: 07.05.2013



.....
podpis zástupce

Abstrakt

Tato diplomová práce popisuje moji práci na projektu ELVIS, na kterém jsem spolupracoval ve firmě ELCOM, a.s. Zařízení ELVIS je založen na optickém bezkontaktním měření vad kondenzátorů, jehož nejdůležitější částí je kamerový systém. Pracoval jsem na návrhu kamerového systému a osvětlení, jejich instalaci a konfiguraci. Spolupracoval jsem na vývoji softwaru Unitester a vytvořil jsem tři nové specifické moduly Rozměr součástky, Mezi terminacemi, Vzdálenost terminací a spolupracoval jsem na vývoji ostatních modulů pro aplikaci Unitester. Pro vývoj těchto modulů bylo využito programovacího prostředí LabVIEW.

Klíčová slova

ELVIS, Kamerový systém, Osvětlení, ELCOM, National Instrument, Unitester, Moduly, LabVIEW, Virtuální instrumentace, Oživování zařízení, GigE, IEEE 1394

Abstract

This diploma thesis describes my work on the project ELVIS, where I worked in the company ELCOM, a.s. ELVIS device is based on an optical non-contact measurement of defects capacitors, whose are the most important part of todays camera system. I worked on the design of CCTV and lighting, their installation and configuration. I cooperated in software development Unitester and I created three new specific modules Size Components, Among Terminations, Distance Terminations. I collaborate on the development of other modules for application Unitester. For the development of these modules were used LabVIEW programming environment.

Key words

ELVIS, Camera system, lighting, ELCOM, National Instrument, Unitester, Modules, LabVIEW, Virtual Instrumentation, Reviving device, GigE, IEEE 1394

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Anglický význam	Český význam
NI	National Instrument	Mezinárodní firma zabývající se měřicí technikou
VAS	Vision Acquisition Software	Balík ovladačů softwaru pro snímání obrazu z kamer
VDM	Vision Development Module	Sada funkcí a nástrojů pro zpracování obrazu
GigE	Gigabit Ethernet	Označení technologie Ethernet pracující s rychlosti přenosu 1 gigabit za sekundu
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
SBM	Serial Bus Managment	Vrstva standardu IEEE 1394 zodpovědná za udržování sběrnice standardu v provozuschopném stavu
STP	Shielded Twisted Pair	Stíněné kroucené dvojlinky
UTP	Unshielded Twisted Pair	Nestíněné kroucené dvojlinky
FPGA	Field Programmable Gate Array	Programovatelná hradlová pole

Seznam obrázků

Obrázek 1:	Konektory IEEE 1934a a i.Link [3]	3
Obrázek 2:	Konektor IEEE 1934b [4]	4
Obrázek 3:	Vrstvový model IEEE 1394 [5].....	5
Obrázek 4:	Skupina funkcí – Overlay.....	10
Obrázek 5:	Nástroje k manipulaci s obrazem - Image Manipulation	10
Obrázek 6:	Rozsáhlá skupina tříd funkcí k detekcím a testování – Machine Vision.....	11
Obrázek 7:	Příklad měření výšky objektu.....	12
Obrázek 8:	Zobrazení VI v blokovém diagramu a algoritmu tohoto VI, čelní panel VI	16
Obrázek 9:	Příklad čelní panel virtuálního zařízení	17
Obrázek 10:	Příklad blokový panel virtuálního zařízení	18
Obrázek 11:	Blokové schéma Unitesteru	19
Obrázek 12:	Provozní a servisní režim aplikace Unitester	20
Obrázek 13:	Testovací sekvence provozního režimu aplikace Unitester	21
Obrázek 14:	Kondenzátor CAP ARRAY 4CH 220PF 100V	22
Obrázek 15:	Diagram procesu průchodu kondenzátoru stanicí	23
Obrázek 16:	Zjednodušený grafický náčrt jedné stanice stroje	24
Obrázek 17:	Navržený schématický náčrt optické soustavy [10]	26
Obrázek 18:	Uživatelské rozhraní modulu Rozměr součástky	32
Obrázek 19:	Ukázka kódu modulu Rozměr součástky.....	34
Obrázek 20:	Zobrazení nalezených hran kondenzátoru.....	34
Obrázek 21:	Uživatelské rozhraní modulu Vzdálenost terminací	35
Obrázek 22:	Ukázka kódu modulu Vzdálenost terminací	37
Obrázek 23:	Uživatelské rozhraní modulu Mezi terminacemi	38
Obrázek 24:	Ukázka kódu modulu Mezi terminacemi.....	40
Obrázek 25:	Oblasti hledání vad mezi terminacemi	40
Obrázek 26:	Modul pro nastavení FPGA pole.....	43
Obrázek 27:	Ukázka naměřených hodnot rozměrů kondenzátoru z obrazu.....	45

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1:</i>	<i>Verze Ethernetu</i>	<i>7</i>
<i>Tabulka 2:</i>	<i>Přehled softwaru jednotlivých výrobců kamerových systémů</i>	<i>8</i>
<i>Tabulka 3:</i>	<i>Klíčové vlastnosti virtuálního a klasického přístroje [8]</i>	<i>14</i>
<i>Tabulka 4:</i>	<i>Výsledné hodnoty výpočtů a měření ostřicích vzdáleností</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 5:</i>	<i>Popis prvků modulu Rozměr součástky</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 6:</i>	<i>Popis prvků modulu Vzdálenost terminací</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 7:</i>	<i>Popis prvků modulu Mezi terminacemi</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 8:</i>	<i>Statistika výtěžnosti kondenzátorů jednotlivých modulů</i>	<i>47</i>

Obsah

Úvod.....	1
1 Teoretický rozbor implementace podpory digitálních kamer pro rozhraní IEEE 1394 a GigE	2
1.1 IEEE 1394	2
1.1.1 IEEE 1394a.....	2
1.1.2 IEEE 1394b	3
1.1.3 IEEE 1394a a USB 2.0	4
1.1.4 Model ISO/OSI standard IEEE 1394.....	5
1.2 Gigabit Ethernet (GigE)	6
1.3 Propojení kamer se softwarem	8
1.3.1 Vybrané funkce z Vision Development Module	9
2 Návrh SW komponent pro zpracování obrazu určeného ke kontrole kvality výrobků	12
2.1 Kamera	13
2.2 Virtuální instrumentace	14
2.3 SW nástroje pro vývoj aplikací	15
2.3.1 LabVIEW	15
2.3.2 Popis prostředí LabVIEW	16
Čelní panel (Front Panel).....	17
Blokový diagram (Block Diagram)	17
2.4 Unitester	19
3 Návrh optické soustavy a výběr prvků kamerového systému	22
3.1 Popis stroje	23
3.2 Výběr kamery	25
3.3 Výběr optické soustavy	25
3.3.1 Ověření naměřených hodnot výpočtem	26
3.4 Výběr osvětlení.....	29
4 Implementace SW komponent do aplikace pro zpracování obrazu.....	30

4.1	Rozsah zásahu do úpravy Unitesteru	30
4.2	Vytvořené moduly	31
4.2.1	Modul - Rozměry součástky	32
4.2.2	Modul – Vzdálenost terminací	35
4.2.3	Modul – Mezi terminacemi	38
5	Instalace a oživení vyvinuté softwarové aplikace na platformě průmyslového PC	41
5.1	Oživení kamerového systému	41
5.2	Oživení osvětlení pozic	41
5.3	Oživení softwaru	42
5.3.1	Testování funkčnosti testů modulů	44
5.3.2	Statistika výsledků	46
6	Zhodnocení a závěr	48
	Použitá literatura	49
	Seznam příloh	L

Úvod

Tato diplomová práce popisuje optická měření a kamerové systémy, které jsou v dnešním světě nepostradatelným pomocníkem v mnoha odvětvích lidské činnosti. Kamerové systémy se nejčastěji používají například v dopravě, zabezpečovací technice pro sledování prostorů a v průmyslu jako kontrolní zařízení pro testovací účely. V této diplomové práci jsem se zabýval právě oblastí kamerových systémů používaných v průmyslu pro detekci vad a testování parametrů výrobků.

První kapitola popisuje jednotlivé standardy využívané v kamerových systémech. Jsou zde rozebrány nejčastěji využívané standardy GigE (Gigabit Ethernet) a IEEE 1394 známý také jako FireWire. Kapitola pojednává také o propojení kamer se softwarem.

Základem optických měření jsou kamerové systémy. Teorie návrhu a činnosti kamerových systémů je popsána v kapitole 2, kde jsou obecně popsány prvky kamerových systému, jejich vlastnosti a použití. Také jsou zde popsány SW nástroje pro vývoj aplikací využívající kamerové systémy.

Třetí až pátá kapitola diplomové práce je věnována výsledkům mé práce na projektu ELVIS – automatickém systému optické inspekce vyráběných kondenzátorů.

Třetí kapitola popisuje tester kondenzátorů ELVIS, použité prvky zařízení jako kamery, optické soustavy a osvětlení. Nechybí zde matematické ověřovací výpočty pro použitou optickou soustavu a výpočet nejvhodnější barvy osvětlení pro kamerový systém.

Čtvrtá kapitola popisuje mou vlastní práci na softwaru zařízení. Popisuje mnou navržené a implementované úpravy v aplikaci Unitester a popisuje tři nově vytvořené SW moduly: Rozměr součástky, Mezi terminacemi a Vzdálenost terminací.

Pátá kapitola naznačuje postup samotného oživení testeru, kamerového systému, osvětlení pozic a softwaru na testeru. V kapitole je také popsáno testování funkčnosti vytvořených modulů a zhodnocení jejich výsledků.

1 Teoretický rozbor implementace podpory digitálních kamer pro rozhraní IEEE 1394 a GigE

V oblasti kamerových systémů a automatizovaných měřících systémů jsou nepostradatelnou součástí komunikační standardy. Standardy, pomocí kterých se transportují obrazová data z kamery do počítače či jiné vyhodnocovací jednotky. Mezi nejčastěji používané standardy patří IEEE 1394 (Firewire) a GigE (Gigabit Ethernet). Další novější a propustnější standardy představují například Camera Link, CoaXPress či univerzální USB 3.0. Tyto tři vysokorychlostní standardy jsou používány všude tam, kde přenosová rychlost GigE a FireWire nestačí. Charakteristickým příkladem je použití těchto vysokorychlostních standardů tam, kde je nutno snímat obraz ve velmi vysokém rozlišení či tam, kde je nutno sejmout mnoho set obrázků za sekundu. Pokud snímáme v menších rozlišeních než dva megapixely (2 Mpx) a snímkovací frekvence použitých kamer je v desítkách snímků za sekundu, můžeme použít kamery s rozhraním GigE či FireWire.

1.1 IEEE 1394

IEEE 1394 [1] je standard sériové sběrnice pro vysokorychlostní přenos dat mezi periferiemi počítačů a samotným počítačem. Práci na tomto standardu započala společnost Apple v roce 1986. Postupem času vznikla pracovní skupina společností IEEE P1394, které spolupracovaly na vývoji IEEE 1394 standardu. Do této pracovní skupiny patří společnosti jako Apple, Texas Instruments, Sony, IBM a další. Tento standard je označován jako i.Link (Sony) či častěji jako FireWire.

Jelikož se jedná o sériovou sběrnici, tak proud dat je uskutečněn bit po bitu, jak isochronně tak asynchronně. V dnešní době existují dvě verze standardu IEEE 1394:

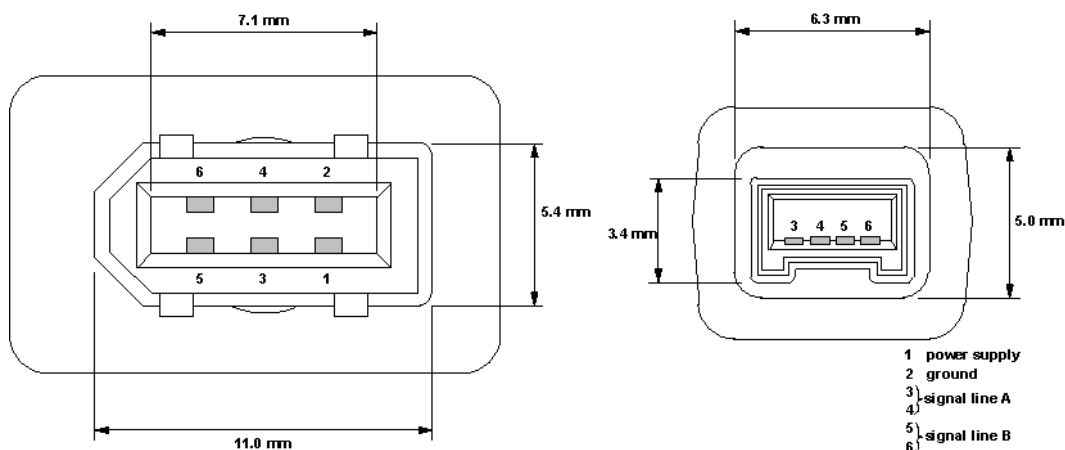
- IEEE 1394a
- IEEE 1394b

1.1.1 IEEE 1394a

Verze IEEE 1394a [2] používá šestipinový napájecí kabel a maximální přenosová rychlost dat této verze se pohybuje do 400Mbit/s. Jedná se o half-duplex komunikaci, kdy obě zařízení mohou data vysílat i přijímat nikoli však současně.

Rychlostí komunikace mezi dvěma zařízeními v rámci tohoto standardu je vícero. S100, S200 a S400, tedy 100, 200 a 400 Mbit/s. Délka kabelu je omezena na 4,5 metru a s pomocí aktivních opakovaců lze dosáhnout maximální délky 72 metrů propojením až šestnácti kabelů v sériovém zapojení. Jelikož je šestipinový konektor napájen, může dodávat energii externím zařízením. Maximální definovaný odběr externích zařízení je do 8 wattů.

Roku 2000 se standard dočkal vylepšení pod označením IEEE 1394a-2000. Mezi hlavní vylepšení patří asynchronní streaming, spojování paketů, lepší úsporný režim spánku a rychlejší rekonfigurace sběrnice. V této standardizaci byl vyvinut konektor „i.Link“. Jedná se o čtyřpinový konektor menší rozměrů. Je plně kompatibilní s šestipinovou verzí, avšak díky absenci dvou napájecích pinů, musí být připojené zařízení napájeno externě.

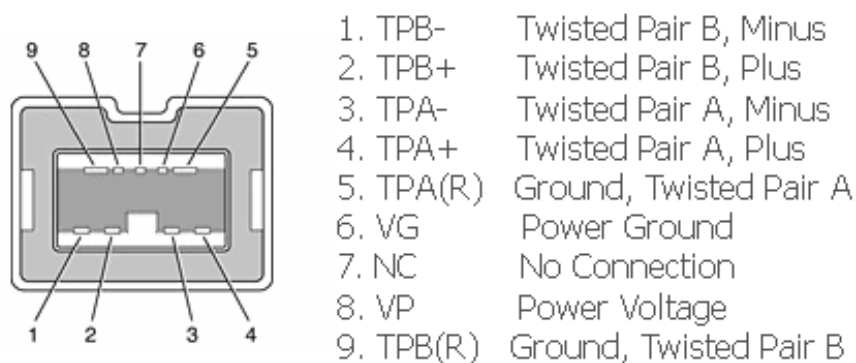


Obrázek 1: Konektory IEEE 1394a a i.Link [3]

1.1.2 IEEE 1394b

Verze IEEE 1394b [2] byla nasazena do praxe roku 2002. V její specifikaci můžeme najít mód S800, tedy full-duplex pro 800 Mbit/s přenosovou rychlost. Konektor této verze standardu oproti předchozímu IEEE 1394a obsahuje 9 pinů.

Existují ještě další módy označené jako S1600 a S3200. Jako v předchozích případech označují přenosové rychlosti 1,6Gb/s a 3,2Gb/s. Obě verze fungují na 9pinovém konektoru a jsou plně kompatibilní s předchozími verzemi. Velkým rivalem IEEE 1394b je USB verze 3.0 se svou teoretickou přenosovou rychlostí 5Gbit/s.



Obrázek 2: Konektor IEEE 1394b [4]

1.1.3 IEEE 1394a a USB 2.0

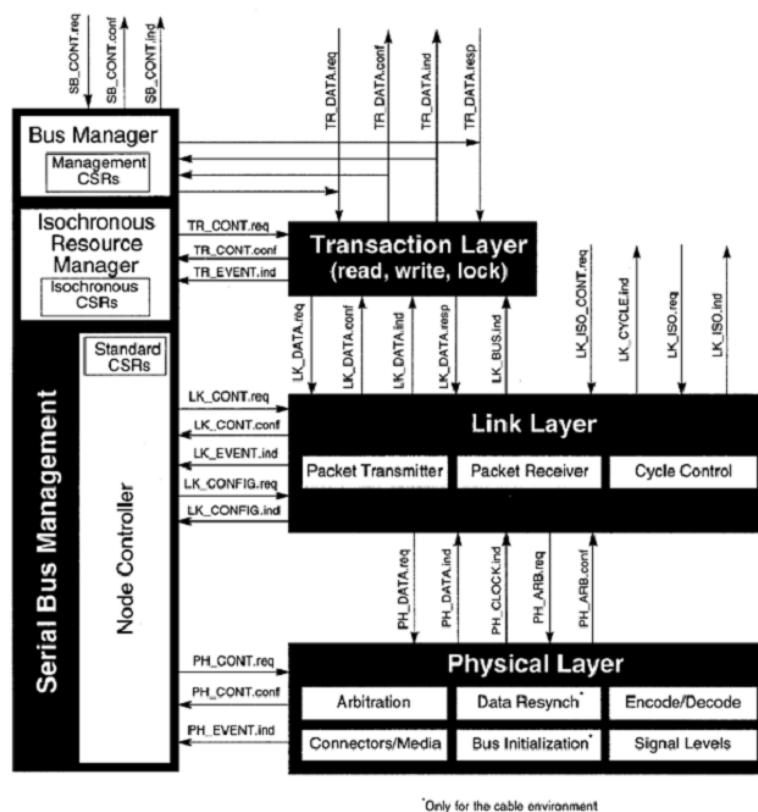
Hlavním rivalem standardu IEEE 1394a je standard USB 2.0, jehož teoretická přenosová rychlost je 480 Mbit/s oproti 400Mbit/s u IEEE 1394a. I přestože komunikace přes USB 2.0 je teoreticky rychlejší, bývá IEEE 1394a, díky nižší režii přenosového protokolu v praxi rychlejší. Velkou výhodou standardu IEEE 1394a je i stabilnější přenos dat, což je dáno tím, že komunikace přes rozhraní IEEE 1394 méně zatěžuje systém díky dokonalejší konstrukci řadiče, který pracuje v režimu DMA (přímý přístup do paměti).

Tyto kladné vlastnosti však nestačily k tomu, aby tento standard zvítězil nad univerzální sériovou sběrnici (USB). Za neúspěchem IEEE 1394 byla nutnost implementace dražšího hardwaru a to bylo ve třídě masově rozšířených periférií velkou překážkou.

I přesto, že rozhraní USB je masově rozšířeno ve všech odvětvích, tak standard IEEE 1394 najde využití i dnes. Používá se převážně tam, kde přenosová rychlost USB 2.0 nestačí. V dnešní době je IEEE 1394 hojně využíván jako jedna možných cest právě pro připojení digitálních videokamery.

1.1.4 Model ISO/OSI standard IEEE 1394

Standard IEEE 1394 slouží pro přenos dat, takže jako i jiné podobné standardy například Ethernet je navržen a definován vrstevným modelem referenčního modelu ISO/OSI. Diagram na obrázku 3 zobrazuje všechny definované vrstvy standardu IEEE 1394.



Obrázek 3: Vrstvový model IEEE 1394 [5]

Mezi základní vrstvy ISO/OSI modelu, které využívá standard IEEE 1394, patří vrstvy:

- fyzická (Physical Layer),
- linková (Link Layer),
- transakční (Transaction Layer)

Další vrstvou tohoto standardu je takzvaný Serial Bus Management (SBM), který je zodpovědný za vyšší úroveň operací, které zachovávají sběrnici v provozuschopném stavu. Jelikož tato vrstva je hierarchicky nad všemi třemi vrstvami a vzhledem k tomu, že tato SBM vrstva využívá služeb všech tří vrstev, tak je zakreslena na levé straně diagramu na obrázku 3. [5]

Z fyzického hlediska jsou fyzická a linková vrstva realizovány hardwarově. Před lety byly tyto vrstvy realizovány jako dva samostatné čipy na desce, ale s postupem času byly tyto dva čipy sloučeny do jednoho čipu plnícího funkce obou vrstev. Fyzická vrstva určuje fyzické parametry a provedení kabelů a konektorů a také předepisuje mechanismy, které zabezpečují inicializaci a synchronizaci sběrnice. Linková vrstva umožňuje řízení isochronního přenosu a zabezpečení transportu datagramů. [5]

Funkce transakční vrstvy a SBM vrstvy jsou většinou prováděny v softwaru/firmwaru FireWire uzlů. Všechny uzly však nevyžadují služby všech vrstev. Příkladem může být FireWire opakovač, který pracuje pouze na vrstvě fyzické. Zařízení jako kamery pracují i s vrstvou linkovou a transakční ale vrstvu SBM nevyužívají. SBM vrstva je nejčastěji realizovaná v počítačích. Transakční vrstva zajišťuje zabezpečení transportu asynchronních paketů pomocí normy ISO/IEC 13213 (read/write/lock) definovaného protokolu. [5]

1.2 Gigabit Ethernet (GigE)

Dalším velmi používaným standardem nejen pro připojení digitálních videokamer ale i k jiným použitím je Gigabit Ethernet, podmnožina velkého celku – Ethernet.

Ethernet je nejrozšířenější současný standard využívaný k vytváření počítačových sítí. Svého času Ethernet bojoval o svou pozici na trhu s technologiemi jako ATM, FDDI, Token Ring či ARCNET. Nakonec však zvítězil díky své nízké ceně a jednoduchosti.

Historie sahá až do sedmdesátých let 20. století, kdy byl Ethernet vyvíjen společností XEROX. Roku 1980 byl Ethernet komerčně představen a posléze o pět let později i standardizován jako IEEE 802.3. [6] Standard prošel za dobu své existence již mnoha vylepšeními a pořád se vyvíjí. Standardizováno už bylo několik verzí Ethernetu viz. tabulka 1.

Tabulka 1: Verze Ethernetu

Verze	Přenosové medium	IEEE označení	Rok	Přenosová rychlost
Ethernet	Koaxiální kabel	IEEE 802.3	1983	10 Mbit/s
Fast Ethernet	UTP/Optika	IEEE 802.3u	1995	100 Mbit/s
Gigabit Ethernet	UTP/Optika	IEEE 802.3ab / IEEE 802.3z	1999/1998	1 Gbit/s
10Gigabit Ethernet	UTP/Optika	IEEE 802.3an / IEEE 802.3ae	2006/2003	10Gbit/s
40GbE 100GbE	Optika	IEEE 802.3ba	2010	40Gb/s 100Gb/s

Jak je možno vidět v tabulce 1, prvním přenosovým médiem byl koaxiální kabel. Jedna z prvních verzí Ethernetu využívala takzvaný tlustý koaxiální kabel a byla označována jako 10Base5. Označení 10Base5 nám označuje přenosovou rychlost a vzdálenost jednoho segmentu, tedy 10Mbit/s a přibližně 500metrů. Velký rozmach Ethernetu však přišel s příchodem takzvaného tenkého koaxiálního kabelu, který je označován jako 10Base2 s přenosovou rychlostí 10Mbit/s a maximální délkou jednoho segmentu 200 metrů. Mezi výhody použití koaxiálního kabelu patřila cena a jednoduchost provedení. Mezi nevýhody naopak velká náchylnost k poruchovosti sítě a relativně velká omezení ohledně rychlosti dat či počtů uzlů.

V dnešní době je dominantním médiem kroucená dvojlinka (Twisted Pair). Kroucená dvojlinka je buď stíněná (STP, Shielded Twisted Pair) či nestíněná (UTP, Unshielded Twisted Pair). STP a UTP kabely jsou složeny z několika párů kroucených vodičů, díky čemuž jsou elektrické vlastnosti kabelu lepší, než kdyby páry vodičů kroucené nebyly. Díky kroucení jednotlivých párů vodičů se sníží přeslechy mezi páry a výrazně se zlepší interakce s okolím, kdy kabel nevyzařuje tolik elektromagnetických vln.

Dalším standardizovaným médiem Ethernetu je optické vlákno. Výhodou optických vláken je přenosová rychlost dosahující desítek gigabitů za sekundu, šířka pásma v řádech stovek GHz na kilometr či jejich bezpečnost a mnoho dalšího. Nevýhodou je poměrně horší manipulativnost s vlákny a cena optických prvků sítí.

1.3 Propojení kamer se softwarem

Abychom mohli propojit kamerový systém s aplikačním softwarem, potřebuje počítač, na kterém daný aplikační software bude spuštěn. Výkon samotného počítače není dnes příliš limitujícím faktorem, jelikož nároky softwaru pro kamerové systémy jsou v dnešní době velmi výkonných počítačů relativně nízké. Ke každé průmyslové kameře je k dispozici základní software, ve kterém je možné snímat obraz z kamery a nastavovat parametry dané kamery.

Mezi nejznámější výrobce průmyslových kamer patří společnost Basler a JAI, které vyvíjí softwary zaznačené v tabulce 2.

Tabulka 2: Přehled softwaru jednotlivých výrobců kamerových systémů

Výrobce	Software
Basler	Basler Pylon & CCT+
JAI	JAI SDK & Control Tool

Existují i softwarové produkty dalších firem – tzv. třetích stran, které díky ovladačům dokáží komunikovat s kamerami těchto výrobců stejně dobře jako jejich firemní software. Mezi nejznámější softwarové produkty patří vývojové nástroje společnosti National Instrument či software společnosti NorPix - StreamPix a TroublePix.

Abychom mohli propojit průmyslovou kameru nebo kamerový systém s počítačem a aplikačním softwarem, musíme využít takového standardu, který podporuje daná použitá kamera. Pokud používáme průmyslovou kameru s GigE či USB rozhraním, není třeba v počítači instalovat další rozšiřující hardware, jelikož dnešní počítače už tyto typy rozhraní standardně obsahují. Kdybychom chtěli použít rozhraní kamery, které není v počítačích standardně obsaženo, příkladem rozhraní IEEE 1394 či CameraLink, tak je nutné do počítače instalovat přídatné karty s těmito rozhraními.

Všechny softwarové prostředky pro záznam obrazu z kamery zpravidla podporují kamery s rozhraními IEEE 1394, GigE, USB či často i vysokorychlostní rozhraní CameraLink a CoaXPress. Tyto softwarové nástroje jsou zpravidla k dispozici pro operační systémy jak 32 tak 64bitové.

K zajištění správné komunikace kamery s definovaným rozhraním a vyhodnocující jednotky s NI softwarem je nutné použít ovladače. V mém případě byly použity moduly NI Vision firmy National Instrument (NI). Přesněji se jedná o moduly NI Vision Acquisition Software a NI Vision Development Module.

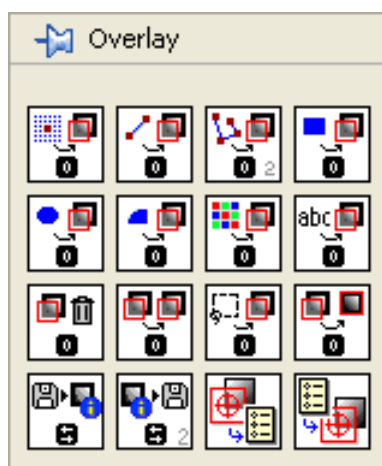
NI Vision Acquisition Software (VAS) [7] je balíček ovladačů funkcí softwaru pro pořízení, zobrazování, zaznamenávání a sledování obrázků z mnoha typů kamer. VAS slouží ke komunikaci libovolné průmyslové kamery se softwarem. Tento modul podporuje mnoho nejpoužívanějších standardů, jako Camera Link, IEEE 1394a/b, GigE Vision, USB, Direct Show a další. Také obsahuje API pro vývojová prostředí LabVIEW, .NET, C, C++ či Visual Basic.

NI Vision Development Module (VDM) [7] obsahuje sadu funkcí a nástrojů pro zpracování obrazu. Funkce VDM lze opět využít pro různá vývojová prostředí, jako LabVIEW, .NET, C, C++ a Visual Basic. Balík obsahuje více než sto různých funkcí od jednoduchých po velmi složité. VDM obsahuje funkce pro tyto standardní situace:

- Vyhledávání tvarů a objektů
- Detekce hran
- Měření rozměrů, úhlů, průměrů, obsahů
- Filtry a transformace obrazu
- Aritmetické a logické operace nad obrazem
- Prostorová kalibrace
- Klasifikace objektů
- Měření barevných odstínů
- Sledování a analýza pohybu částic
- Čtení 1D/2D kódů
- Čtení textu (OCR)

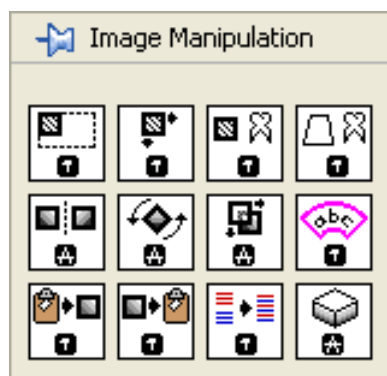
1.3.1 Vybrané funkce z Vision Development Module

Skupina funkcí na obrázku 4 slouží k překreslování obrazu objekty a popisky. Jedná se o překreslování, které je vratné. Překreslování obrazu probíhá ve vrstvě nad obrázkem a vrstva není s obrazem nijak spjata. Při použití kterékoliv této funkce lze získat původní obraz.



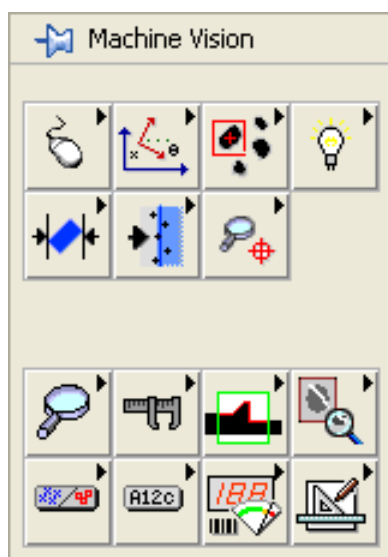
Obrázek 4: Skupina funkcí – Overlay

Dalším příkladem z mnoha nástrojů a funkcí je například sada nástrojů k manipulaci s obrazem.



Obrázek 5: Nástroje k manipulaci s obrazem - Image Manipulation

Na obrázku 6 lze vidět skupiny tříd funkcí sloužící k detekcím a testováním. Lze zde použít funkce pro měření rozměrů, identifikaci objektu a podobně.



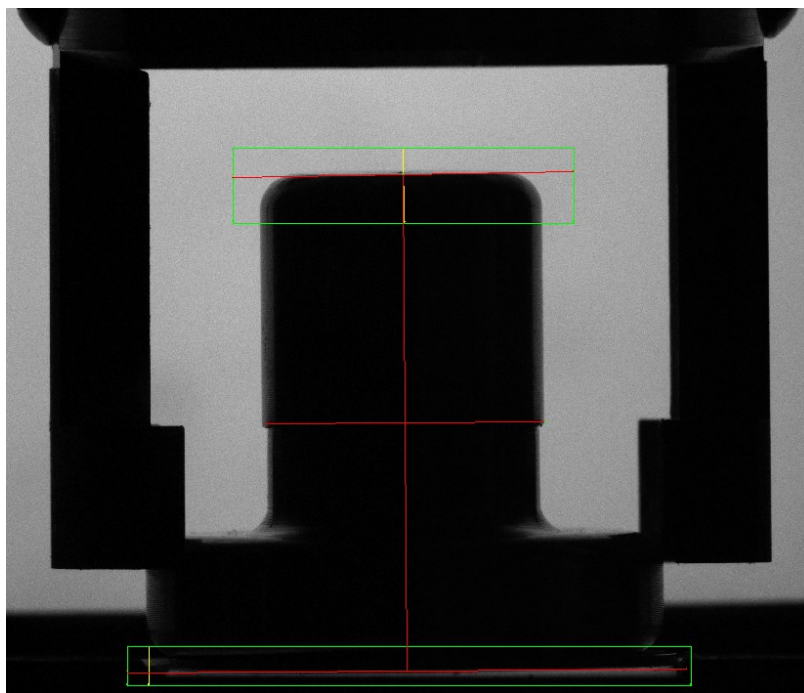
Obrázek 6: Rozsáhlá skupina tříd funkcí k detekcím a testování – Machine Vision

2 Návrh SW komponent pro zpracování obrazu určeného ke kontrole kvality výrobků

Kamerové systémy v průmyslovém odvětví mají obrovské využití. Jakožto průmyslové automatizované systémy umožňují detekovat vady výrobků, testovat s velkou přesností rozměry, odchylky, odstíny barev, tvary či umístění. Další možností je také test přítomnosti jednotlivých prvků nebo jejich počtu. Všechna tato testování se provádí bezkontaktně, kdy k vizuálnímu otestování výrobku není nutný žádný kontakt měřicího zařízení s měřeným výrobkem. Právě díky bezkontaktnímu způsobu testování se maximalizuje přesnost měření měřených vlastností výrobku.

Tyto automatizované průmyslové systémy založené na kamerových systémech zajišťují flexibilitu kontroly, její spolehlivost, stabilitu, rychlost a vysoký výkon. Tyto systémy jsou do jisté míry bezúdržbové a kladou velký důraz na jednoduchost obsluhy stroje v podobě několika tlačítek a či jiných ovládacích prvků.

Optická kontrola má mnoho kladů, avšak existují i zápory tohoto typu testování a měření. Jelikož se zde využívá potenciál bezkontaktního měření pomocí snímání kamer, tak vytvořený obrazový materiál v podobě jednotlivých snímků je nutno zpracovávat na poměrně velmi výkonných počítačích s dostatkem paměti a úložného místa pro případné ukládání obrazových dat.



Obrázek 7: Příklad měření výšky objektu

Automatizovaný kamerový průmyslový systém se skládá z několika dílčích prvků.

- Průmyslová kamera
- Vyhodnocující počítač se softwarem
- Osvětlení
- Prvky zasahující do procesu testování

2.1 Kamera

Kamera v průmyslovém automatizovaném systému je tím nejdůležitějším prvkem. Průmyslové kamery lze rozdělit několika způsoby. Průmyslové kamery lze z hlediska zpracování obrazu rozdělit na:

- Analogové kamery
- Digitální kamery

Analogové kamery mají analogový výstup, který je nezbytné v příslušném vyhodnocujícím počítači pomoci přídavné A/D karty digitalizovat. Proto je použití analogových kamer složitější a finančně náročnější.

Digitální kamery mají výstup už plně digitalizován. Digitalizovaný obraz je možno přenést beze ztráty kvality přímo do vyhodnocujícího počítače. Zde není nutné použít převodníkové A/D karty a proto je použití digitálních kamer finančně příznivější.

Kamery lze rozdělit i podle použitého typu snímání senzoru kamery na:

- Barevné kamery
- Černobílé kamery

Výhodou černobílých kamer je ten, že pixely senzoru při stejné velikosti a rozlišení jsou v porovnání větší než u barevné kamery, kde jeden pixel senzoru obsahuje tři menší subpixely. Jeden pixel černobílé kamery má větší světlocitlivou plochu než jeden subpixel barevné kamery. Z toho plyne, že černobílé kamery (senzory) jsou v porovnání s barevnými kamerami (senzory) mnohem citlivější na dopadající světlo.

Průmyslové kamery lze dále rozdělit mnoha způsoby, podle typu senzoru a jeho technologie či podle použitého rozhraní kamery.

2.2 Virtuální instrumentace

Mezi další velmi důležitou část optického měření a testování patří vyhodnocující počítač se softwarem. Právě počítače se v poslední době velmi rozšiřují a to i do všech oblastí průmyslu. Právě použití počítačů v průmyslu dalo vzniknout novému pojmu – virtuální instrumentace.

Virtuální instrumentace je pojmem, který zahrnuje hardwarové vybavení v podobě počítače společně se softwarem určeným pro měření a testování. Standardní profesionální přístroje k testování jsou přizpůsobeny pouze k určitému druhu testování a měření bez jednoduché možnosti upravovat či přidávat testovací a měřicí metody zařízení díky specifickému hardwaru. Nové moderní testovací přístroje založené na počítačích s testovacím softwarem využívající výhod virtuální instrumentace jsou mnohem flexibilnější než standardní testovací přístroje. Tím nejdůležitějším u moderních měřicích přístrojů je software, testovací aplikace kde se provádí veškeré testování a měření ze získaných dat. Změny a přizpůsobení v systému se převážně uskutečňují právě na straně softwaru, což je mnohem levnější, rychlejší a flexibilnější.

Hardware v těchto nových moderních přístrojích je podružnou částí stroje starající se o zpracování signálů. Ve standardních přístrojích má hardware větší prioritu a software (firmware) se stará pouze o zobrazení předem výrobcem definovaných výstupů.

Flexibilita virtuálních měřicích přístrojů je založena právě na počítačích, kdy je možné počítač rozšířit o přídatné karty ke zpracování signálů. Takto rozšiřitelný přístroj (počítač) s možností rychlého přidání či upravení funkčnosti v softwaru umožňuje mnohem větší možnosti modifikace testovacího přístroje než standardní přístroj.

Tabulka 3: Klíčové vlastnosti virtuálního a klasického přístroje [8]

Vlastnost	Virtuální přístroj	Standardní přístroj
Definování funkce přístroje	Uživatel	Výrobce
Důležitá část přístroje	Software	Hardware
Architektura	Otevřená, univerzální, jednoduchá modifikace a přidání funkcí	Uzavřená, funkce nelze měnit ani přidávat
Komunikace	Velmi široké pole možností komunikace	Omezené možnosti komunikace
Cena	Nízká cena (vícenásobné použití hardware)	Vysoká cena

2.3 SW nástroje pro vývoj aplikací

Jelikož software je hlavním prvkem moderních měřicích systémů, je výběr vhodného nástroje pro vývoj testovacích aplikací velmi důležitý. Existuje mnoho vývojových prostředí, avšak všechna nejsou vhodná právě pro měření či testování v automatizovaných testovacích systémech. Nejpoužívanější vývojová prostředí jako Java, C, C++ nejsou ideálním nástrojem, protože nepodporují prostředky ke komunikaci se všemi druhy rozhraní.

Pro programování měřicích aplikací existují speciální softwarové nástroje zaměřené právě na tento druh testovacích a měřicích aplikací. Tyto nástroje jsou připravené svými funkcemi na všechny druhy komunikace, kterou tato oblast měření vyžaduje.

Existuje velký počet použitelných vývojových prostředí pro vývoj měřicích a testovacích aplikací. Mezi nejznámější vývojová prostředí můžeme zařadit následující:

- LabVIEW
- Matlab
- VEE
- TestPoint
- ControlWeb

Má práce byla vytvářena s pomocí vývojového prostředí LabVIEW firmy National Instrument (NI), takže si toto vývojové prostředí blíže popíšeme.

2.3.1 LabVIEW

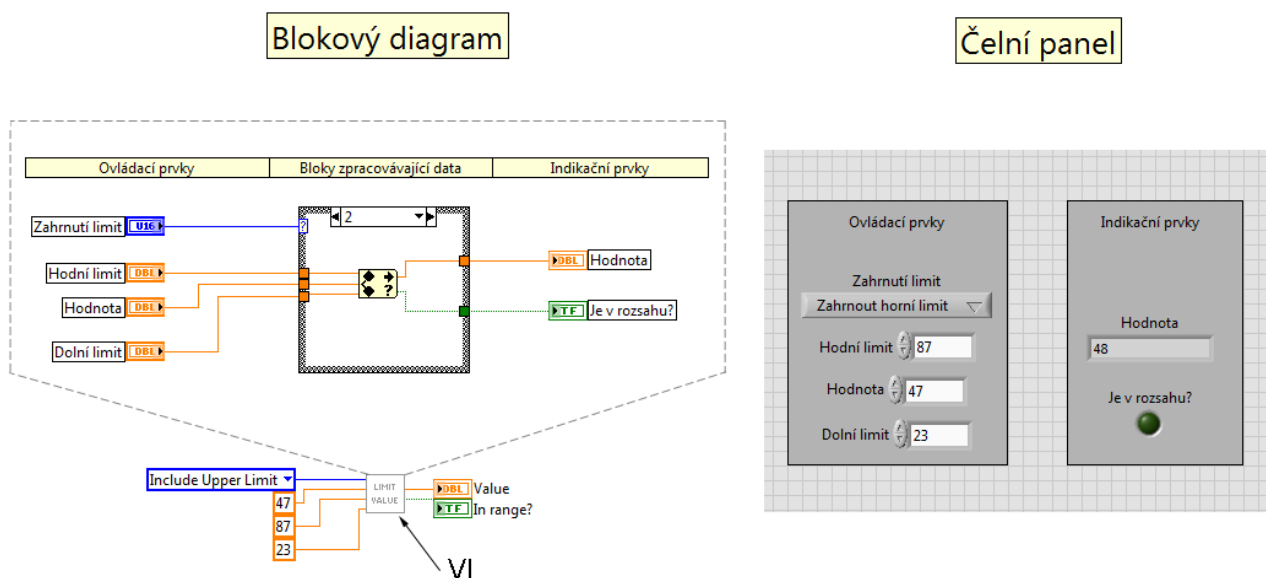
LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) [9] je grafické programovací prostředí, které používá řada inženýrů a vědců po celém světě. Pomocí tohoto programovacího prostředí dokážeme efektivně a sofistikovaně vytvořit aplikace, které jsou zaměřeny hlavně na systémy pro měření od fáze sběru, analýzy a prezentaci dat. Celé programování v LabVIEW je grafické a občas je takové programování označováno jako programovací jazyk G (Graphic-grafický). LabVIEW nabízí integraci s mnoha hardwarovými zařízeními s podporou velkého počtu vestavěných knihoven pro analýzu a vyhodnocení dat.

Vývojové prostředí LabVIEW bylo vytvořeno americkou firmou National Instrument (NI), která je průkopníkem technologie virtuální instrumentace. První verzi vývojového prostředí LabVIEW firma uvolnila už v roce 1986. Postupem času se tento software stával hlavním nástrojem v oblasti programování měřicích systémů a virtuální instrumentace.

2.3.2 Popis prostředí LabVIEW

Celé programovací prostředí je založeno na grafickém (G) programování. Grafické programování podporuje stejné programové struktury a datové typy, jako můžeme nalézt u textově orientovaných programovacích jazyků C, C++, Java a další. Nalezneme zde v grafické podobě datové typy, cykly, proměnné, zpracování událostí, rekurze, objektově-orientované programování (OOP) a mnoho dalšího.

Hlavní částí prostředí LabVIEW je blokový diagram, ve kterém je reprezentována finální podoba zdrojového kódu. Dalším hlavním rysem tohoto programovacího prostředí LabVIEW je tzv. DataFlow (tok dat). Dataflow znamená, že jakákoliv funkce se vykoná až tehdy, když dojdou na všechny její vstupy platná data. Pod pojmem funkce v LabVIEW si můžeme představit algoritmus s ovládacími prvky, bloky zpracovávající data a indikačními prvky. Tyto prvky a bloky jsou dohromady reprezentované jako samostatný blok tvořený ikonou často označovány jako VI, viz. obrázek 8.



Obrázek 8: Zobrazení VI v blokovém diagramu a algoritmu tohoto VI, čelní panel VI

Když dojdou na vstupní terminály funkce platná data, funkce VI se vykoná a vytvoří výstupní data. Pokud však platná data nedojdou na vstupy VI, funkce uvnitř VI nemůže vyprodukovat výstup, nedojdeme k výsledku.

Virtuální přístroj

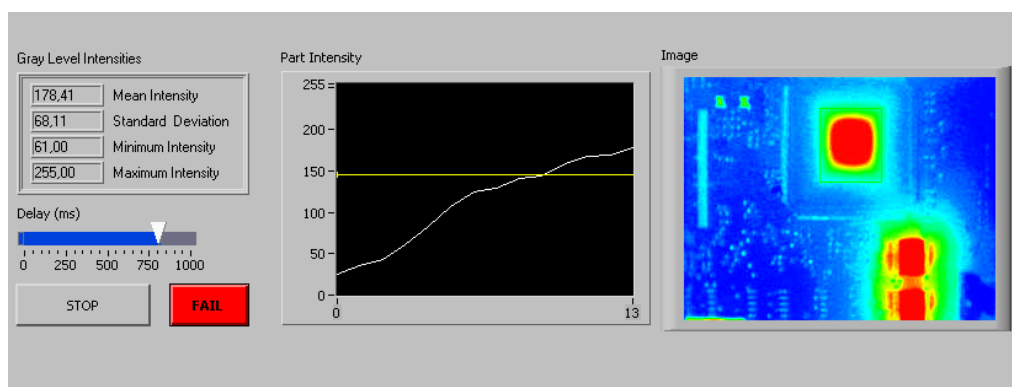
Virtuální přístroj (VI) můžeme použít jako samostatný program či jej využít jako podprogram (SubVI). Takovýto virtuální přístroj je charakterizován specifickou ikonou se vstupy a výstupy signálů/dat v blokovém panelu a svojí funkcí. Vytvořením virtuálního přístroje v prostředí LabVIEW získáme:

Čelní panel (Front Panel)

Čelní panel (Front Panel), který je grafickým uživatelským rozhraním (GUI) pro znázornění čelního panelu (fyzického) zařízení. V tomto panelu se nacházejí prvky pro ovládání zařízení a indikaci stavu zařízení. Tyto prvky mohou být různá tlačítka, LED indikace, grafy, přepínače, textové pole a další.

Prvky ovládací jsou vstupními bloky, které zajišťují vstup informace zadané uživatelem do aplikace. V blokovém panelu se tyto prvky poznají podle toho, že jejich ikona má pouze výstup, ze kterého vychází informace uživatele do algoritmu virtuálního stroje.

Prvky indikační jsou výstupními bloky zařízení, které indikují/prezentují výstupní výsledky virtuálního stroje. Tyto prvky předávají výsledné informace z virtuálního stroje uživateli.



Obrázek 9: Příklad čelní panel virtuálního zařízení

Blokový diagram (Block Diagram)

Blokový diagram znázorňuje funkci virtuálního stroje. V tomto blokovém diagramu se nachází algoritmus virtuálního přístroje. Můžeme si jej představit jako blokové schéma, které vyjadřuje zdrojový kód v grafické podobě. Tento zdrojový kód se skládá z následujících prvků (bloku):

- Zdrojový blok
- Cílový blok
- Uzlový blok

2.4 Unitester

Unitester je zkrácený název pro univerzální tester vyvíjený společností ELCOM, a.s. Unitester je modulárně rozšiřitelný a slouží pro zpracovávání a vyhodnocování naměřených dat, které jsou z větší části získávána průmyslovými kamerami.

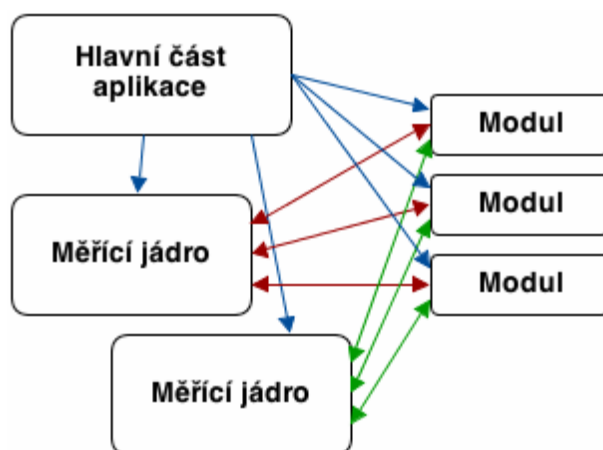
Celou aplikaci lze rozdělit na tři části:

- Hlavní část
- Měřicí jádro
- Moduly

Hlavní část aplikace obstarává spouštění všech částí programu, načítá konfigurace a stará se také o ukončení komunikace se všemi nainicializovanými komponentami, moduly, měřicími jádry a zajišťuje regulérní ukončení celé aplikace.

Měřicí jádro má za úkol inicializovat komunikaci se samotnými komponentami zařízení a následně řídit chod komunikace mezi aplikací a všemi komponentami zařízení. Měřících jader může být v Unitesteru použito více, podle použitých hardwarových zařízení.

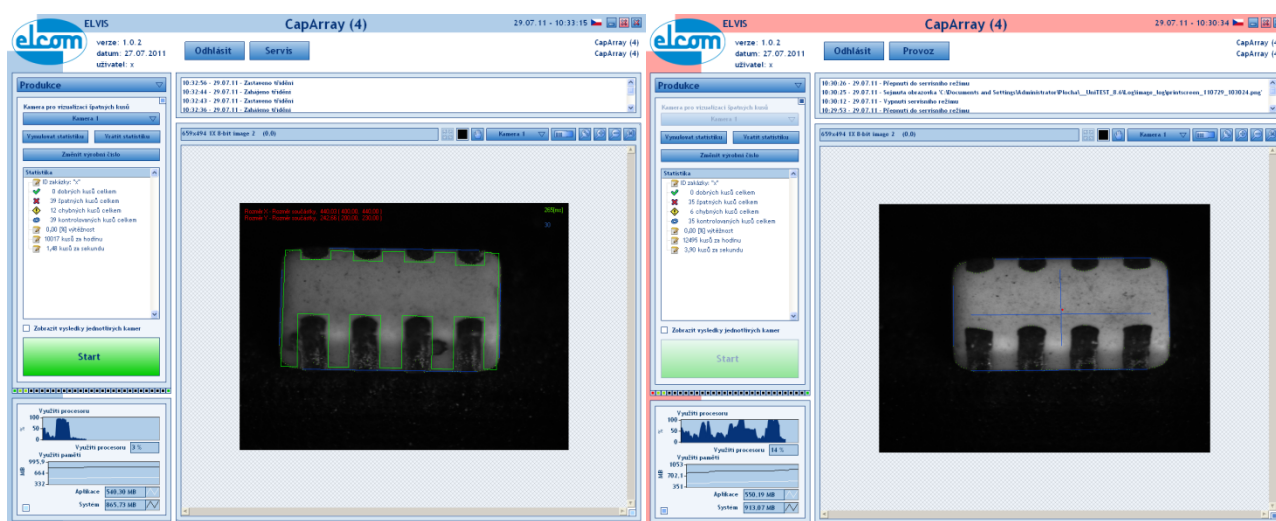
Moduly provádí vyhodnocování testů ze získaných dat nebo pouze řídí a nastavují konfiguraci zařízení. Jako příklad lze uvést modul „Rozměry součástky“, který ze získaných dat ve formě obrázku z kamery dokáže zjistit přesné rozměry dané součástky.



Obrázek 11: Blokové schéma Unitesteru

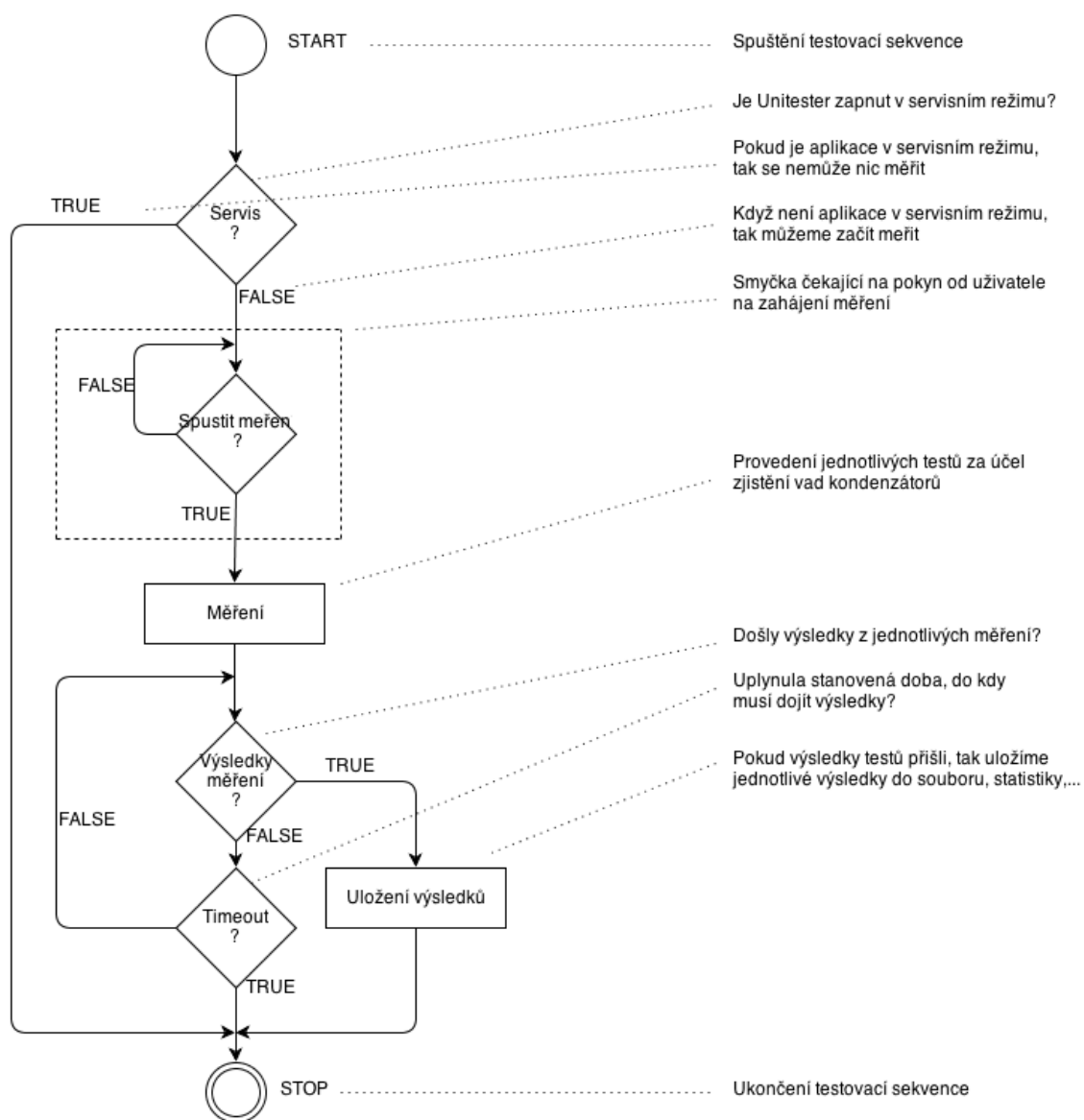
Aplikace Unitester má celkově tři typy režimů provozu, díky kterým lze provádět různé typy činností. Jedná se o tyto typy režimů:

- Provozní režim
- Servisní režim
- Simulovaný režim



Obrázek 12: Provozní a servisní režim aplikace Unitester

V provozním režimu aplikace Unitesteru (modrý pruh) dochází k automatickému měření a vyhodnocování definovaných testů. Servisní režim aplikace (červený pruh) dovoluje obsluhu měnit, upravovat, kontrolovat nastavení aplikace a měřících testů pro automatické měření v provozním režimu. Simulovaný režim aplikace (zelený pruh) se chová stejně jako režim provozní s tím rozdílem, že obrazová data nejsou získávána z kamerového systému ale z pevného disku počítače. Tento simulovaný režim slouží ke kontrole funkcí aplikace Unitesteru a jednotlivých modulů na osobním počítači vývojáře.



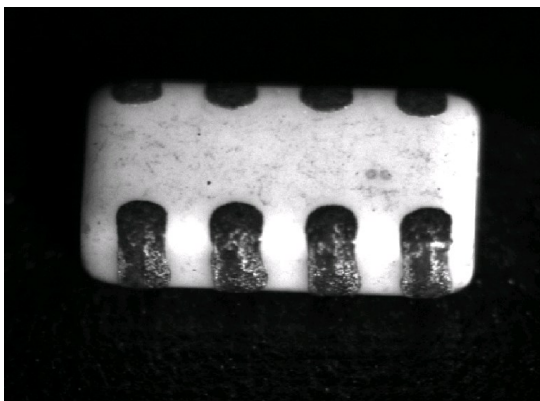
Obrázek 13: Testovací sekvence provozního režimu aplikace Unitester

3 Návrh optické soustavy a výběr prvků kamerového systému

Tato kapitola nastíní řešení úlohy, na které jsem se podílel. Projekt, na kterém jsem se podílel, má za úkol pomocí dvou kamer snímat různé typy kondenzátorů. Ze snímků kondenzátorů se pomocí softwaru Unitester a jednotlivých modulových testů na detekci vad posuzuje, zda kondenzátor vyhovuje daným mezím. Mezi testy vad patří například:

- Rozměr součástky
- Velikosti terminací
- Tvar terminací
- Vyosení terminací
- Detekce spálených terminací
- Detekce bílých míst v terminacích
- Kontrola rohů součástky
- Kontrola poškození keramiky
- Kontrola odstínu keramiky
- Kontrola poměrů velikostí terminací
- Kontrola vad mezi terminacemi
- Kontrola hran součástky
- Kontrola oxidu na terminacích

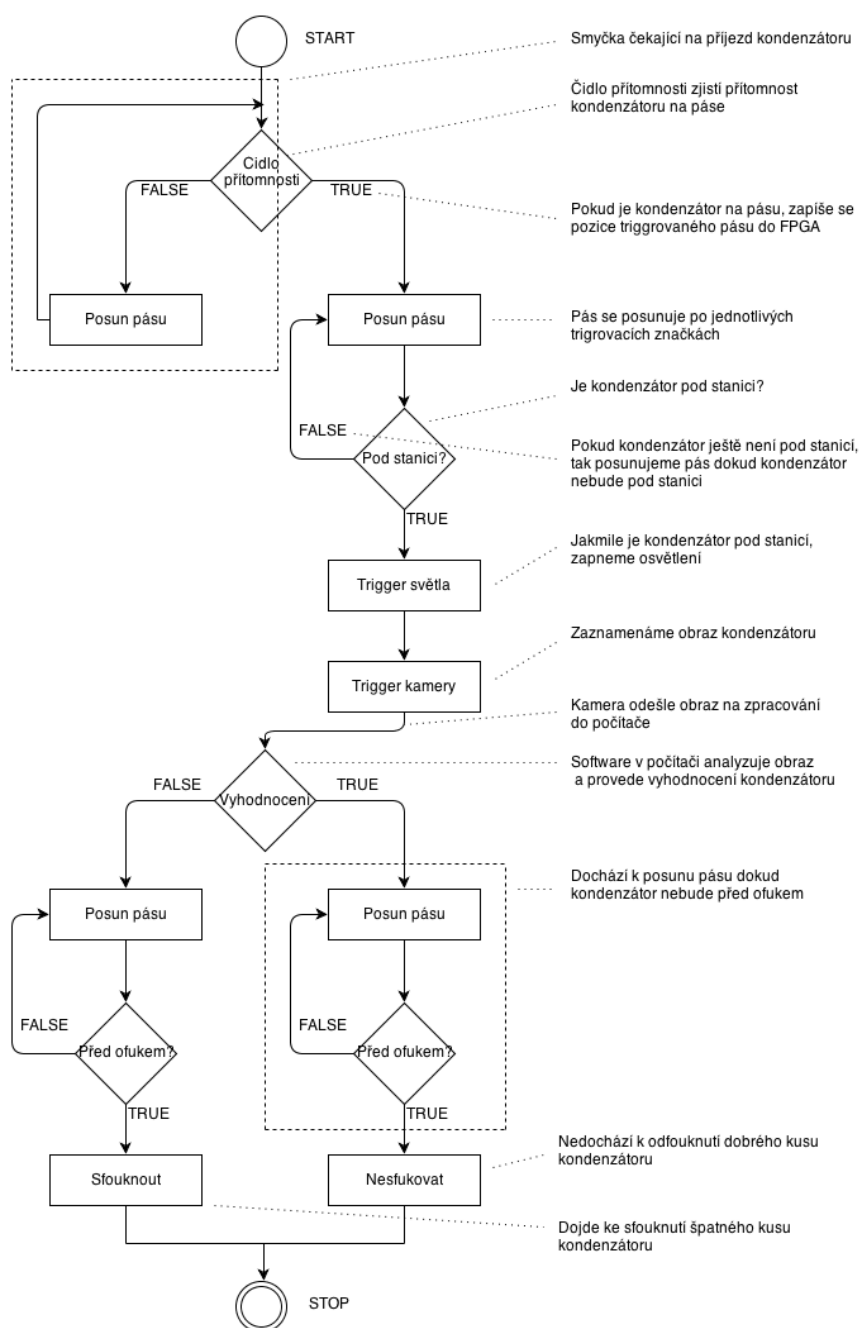
Mimo samotných testů kondenzátorů v Unitesteru existují i další moduly, kterými lze spravovat uživatele, spravovat konfigurace s nastaveními, kalibrovat, sledovat stav stroje či manipulovat s nastaveními kamer či samotného stroje.



Obrázek 14: Kondenzátor CAP ARRAY 4CH 220PF 100V

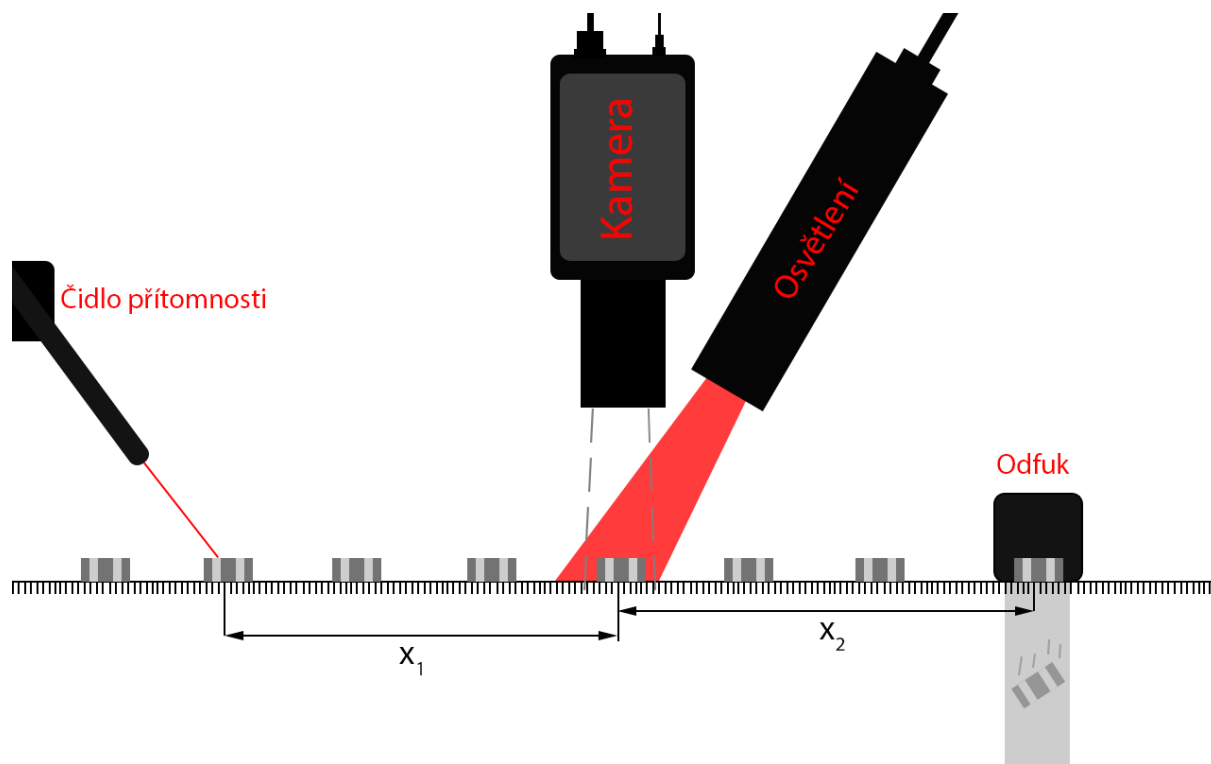
3.1 Popis stroje

Stroj je založen na dvou pozicích, kde dochází ke snímání obrazu kondenzátoru a případného odstranění špatného kusu z pásu. Obě tyto pozice testování obsahují dvě kamery s osvětlením a odfukem. Kamery snímají kondenzátory v úhlu přibližně 60° z obou boků z jedné strany. První pozice testování pomocí kamer kontroluje kondenzátor z jedné strany a druhá stanice kontroluje kondenzátor ze strany druhé. Všechny nasnímaná obrazová data se z kamer přenášejí skrz FireWire rozhraní do průmyslového počítače s vyhodnocujícím softwarem Unitester.



Obrázek 15: Diagram procesu průchodu kondenzátoru stanicí

Na obrázku 16 je znázorněný průchod kondenzátorů jednou testovací stanicí. Průběh je u obou stanic analogický.



Obrázek 16: Zjednodušený grafický náčrt jedné stanice stroje

Velmi důležitou částí zařízení je FPGA, neboli programovatelná hradlová pole. Rozdíl mezi klasickým procesorem a FPGA je ten, že FPGA by se dal označit jako programovatelný integrovaný obvod. Jedná se o číslicové integrované obvody, které obsahují různě programovatelné bloky propojené konfigurovatelnými maticí spojů. U FPGA lze tedy konfigurovat integrované obvody dle potřeb zákazníka. Díky této vlastnosti FPGA, lze danou výkonovou jednotku maximálně optimalizovat pro danou aplikaci zařízení. V tomto testeru je FPGA naimplementováno pro kontrolu posunů pásu a k zajištění trigrování světel, kamer a odfuků.

Funkce testeru spočívá v tom, že když čidlo přítomnosti detekuje kus kondenzátoru, tak se запиše hodnota pozice trigrovaného pásu do FPGA. Vzdálenost x_1 a x_2 od čidla přítomnosti po pozici stanice a odfuku jsou přesně definované a FPGA si s každým mikroposuvem pásu kontroluje, zda už je pás na dané pozici pod kamerou. Když FPGA detekuje, že se pás posunul o přesný počet posunutí x_1 , tak pošle signál pro osvětlení a kameru pro zachycení obrazu. Jelikož se jedná o kontinuální pohyb pásu, FPGA stále kontroluje pozici pásu s kondenzátorem, než dojde do pozice s odfukem. Během

času pohybu pásu s kondenzátorem mezi stanicí a odfukem se v počítači vyhodnocuje obraz s kondenzátorem a výsledek testů kondenzátoru musí dorazit do FPGA dříve, než dojde kondenzátor k odfuku. Jakmile výsledek testů dorazí do FPGA a pás s kondenzátorem je na správné pozici před odfukem, tak se provede odfouknutí špatného kusu podle výsledku testu, popřípadě se pustí kondenzátor dále.

3.2 Výběr kamery

Výběr kamer byl jedním z prvních problémů, se kterým jsem se potýkal. Vzhledem k tomu, že se kondenzátory na pásu pohybují rychlostí 9 kusů za sekundu (přibližně 30000 kusů za hodinu), bylo nutné vybrat kameru s relativně rychlým snímáním. Jelikož stroj obsahuje kamery čtyři, bylo nutné také pamatovat na propustnost sběrnic a výkon počítače. Pokud bych zvolil kameru s příliš vysokým rozlišením, tak by se mohlo stát, že by počítač nezvládl zpracovávat tak velký datový tok kamer. Proto bylo nutné vybrat kamery s takovým rozlišením, aby bylo možné bezpečně detekovat jednotlivé vady při nízkých nárocích na datový tok.

Kamera byla nakonec vybrána Basler scA640-70fm. Jedná se o černobílou kameru s IEEE 1394 rozhraním, rozlišením 659 x 490 a rychlosti snímání 71 snímků za sekundu.

3.3 Výběr optické soustavy

V další části práce bylo nutné vyzkoušet, jaký objektiv bude s danou kamerou nejvhodnější. Vzhledem k tomu, že rozměry součástky jsou v jednotkách milimetrů, bylo nutné najít způsob, jak bezpečně získat snímek kondenzátoru v celé ploše obrazu.

Zde jsem se potýkal s problémem, jak zaostřit na objekt v milimetrových rozměrech ve velmi omezených prostorech. Kamera musela být uchycena ve vzdálenosti přibližně 20 centimetrů od kondenzátoru. První omezení nastalo na straně objektivu, kdy většina objektivů umožňovala zaostřovat maximálně od 20 centimetrů. V mém případě bylo nutné, aby objektiv zaostřoval na mnohem kratší vzdálenost a měl velké zvětšení pro využití plochy obrazu.

V tomto případě pomohly mezikroužky, které se umísťují mezi kameru a objektiv. Použitím těchto mezikroužků se dosáhne velkého posunu zaostřovacího rozsahu. Zaostřovací rozsah se rovněž sníží, nejde tedy zaostřit na nekonečno, avšak minimální zaostřovací vzdálenost se zkrátí. S mezikroužky lze snímat z mnohem menší vzdálenosti. Díky této vlastnosti zkrácení minimální vzdálenosti ostření také vzroste takzvané zvětšení objektivu.

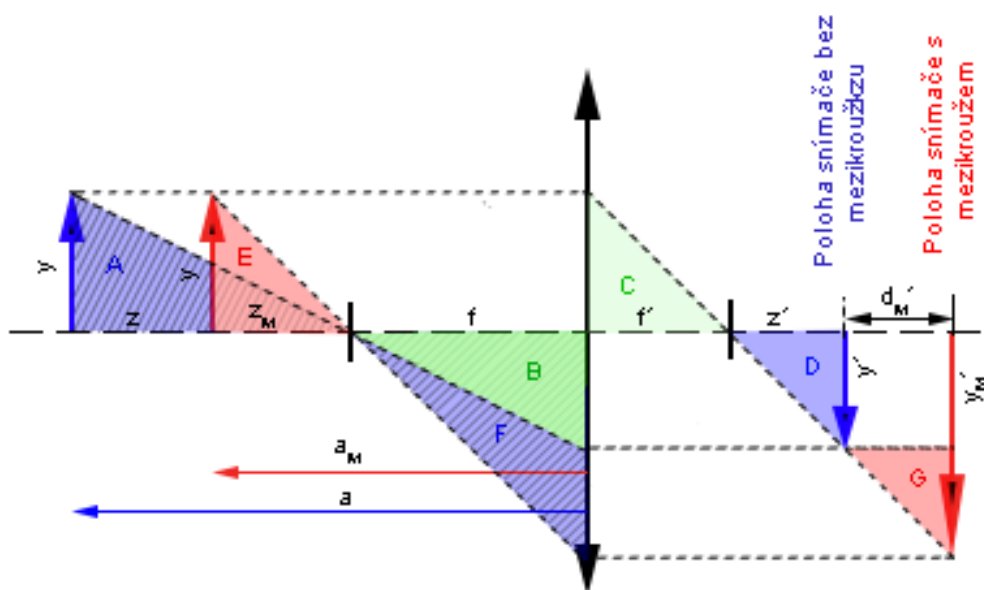
Metoda, jak vyřešit problém se zaostřením a zvětšením jsem našel. Další problém nastal v tom, jakou kombinaci ohniska objektivu a délky mezikroužku zvolit, aby bylo dosaženo obrazu, kde plocha kondenzátoru zabírá co největší plochu obrazu. Díky časové tísní jsem zvolil heuristickou strategii pokusu-omylu-intuice.

Myšlenka byla taková, že maximální zvětšení objektivu vzniká při minimální zaostřovací vzdálenosti a této vlastnosti všech objektivů jsem chtěl využít. Proto jsem se rozhodl, že bude nutné použít větší ohniska se zaostřením na co nejkratší zaostřovací vzdálenost a mezikroužky se pokusit dokombinovat tuto optickou soustavu do stavu, kdy kondenzátor vyplní většinu obrazu.

Nejlépeších výsledků bylo dosaženo s objektivem Tamron M118FM50 s ohniskovou vzdáleností $f=50\text{mm}$ a délkou mezikroužků $d_M=50\text{mm}$. Použitá optická sestava, měřeno od vstupní pupily objektivu, byla vzdálená přibližně 9,2cm. Pomocí matematických výpočtů v kapitole 3.3.1 si můžeme vypočítat, jaký je nyní rozsah zaostření objektivu a zda se výpočty shodují s naměřenou hodnotou.

3.3.1 Ověření naměřených hodnot výpočtem

K tomu abychom si mohli ověřit naměřené hodnoty, využijeme odvozeného schématu navržené optické soustavy na obrázku 17 v následujícím výpočtu [10]. Obrázek je popsán symboly a pojmy, kde oblasti A-G označují jednotlivé situace. Červené oblasti znázorňují situaci s použitým mezikroužkem a modré oblasti jsou situace bez použití mezikroužků. Proměnná a je vzdálenost od předmětové hlavní roviny bez mezikroužku, a_M je vzdálenost od předmětové hlavní roviny s mezikroužkem. Ohniskové vzdálenosti jsou označeny symboly f a f' . Symbol d_M' znázorňuje délku mezikroužku.



Obrázek 17: Navržený schématický náčrt optické soustavy [10]

Z nákresu můžeme vyvodit jednotlivé rovnice, které nám pomohou určit oblast zaostření objektivu.

Z podobnosti trojúhelníků G a C získáme následující rovnici:

$$\frac{y_{M'} - y'}{d_{M'}} = \frac{y}{f'} \quad (4.1)$$

Z podobnosti trojúhelníků A a B získáme následující rovnici:

$$\frac{y}{a - f} = \frac{y'}{f} \rightarrow y' = \frac{f \cdot y}{a - f} \quad (4.2)$$

Z podobnosti trojúhelníků E a F získáme následující rovnici:

$$\frac{y}{a_M - f} = \frac{y_{M'}}{f} \rightarrow y_{M'} = \frac{f \cdot y}{a_M - f} \quad (4.3)$$

Nyní můžeme dosadit rovnici 4.1 do rovnice 4.2 a do výsledného výsledku dosadit rovnici 4.3. Touto úpravou dostaneme:

$$\frac{y_{M'} - \frac{f \cdot y}{a - f}}{d_{M'}} = \frac{y}{f'} \rightarrow \frac{\frac{f \cdot y}{a_M - f} - \frac{f \cdot y}{a - f}}{d_{M'}} = \frac{y}{f'} \rightarrow \left(\frac{1}{a_M - f} - \frac{1}{a - f} \right) = \frac{d_M}{f \cdot f'} \quad (4.4)$$

Ze vzorce 4.4 můžeme vyjádřit proměnnou a_M a díky rovnosti $f=f'$ dostaneme rovnici 4.5

$$a_M = f' \left(1 + \frac{f(a - f')}{d_{M'}(a - f') + f'^2} \right) \quad (4.5)$$

Nyní máme odvozený vzorec 4.5 a_M , který nám určí minimální možnou ostřicí vzdálenost (dolní mez), na kterou bude schopen objektiv s mezikroužky zaostřit. Abychom zjistili i horní limitní mez zaostřovací vzdálenosti, budeme muset udělat limitu ze vzorce 4.5 pro $a \rightarrow \infty$.

$$\underline{a_{M\infty}} = \lim_{a \rightarrow \infty} a_M = \lim_{a \rightarrow \infty} f \left(1 + \frac{f'(a-f)}{d_M'(a-f) + f' \cdot f} \right) = \lim_{a \rightarrow \infty} \left(f + \frac{f' \cdot f}{d_M' + \frac{f' \cdot f}{a-f}} \right) =$$

$$f \left(1 + \frac{f'}{d_M'} \right) = |f = f'| = \underline{f' \left(1 + \frac{f'}{d_M'} \right)} \quad (4.6)$$

Pomocí vzorců horní (4.6) a dolní meze (4.5) nyní dokážeme vypočítat, jakou zaostřovací oblast pokryje objektiv s mezikroužkem.

Víme, že minimální zaostřovací vzdálenost použitého objektivu Tamron je podle specifikací $a_M = 200mm$ a ohnisko $f' = 50mm$. Šířka použitých mezikroužků se rovná $d_M' = 50mm$. Pokud tyto proměnné dosadíme do výsledných rovnic 4.5 a 4.6 tak dostaneme dolní a horní hranici zaostření objektivu s mezikroužkem. Výsledné hodnoty jsou zaneseny do tabulky 4.

Tabulka 4: Výsledné hodnoty výpočtů a měření ostřících vzdáleností

Ostřící vzdálenost bez mezikroužku	Ostřící vzdálenost s mezikroužkem	Ostřící vzdálenost naměřená
$a_{\min} \div a_{\max}$ [mm]	$a_{M\min} \div a_{M\max}$ [mm]	a_{nam} [mm]
$200 \div \infty$	$87.5 \div 100$	92

Jak lze vidět z tabulky, naměřená hodnota vzdálenosti zaostření na kondenzátor se nachází v rozsahu vypočtených hodnot, čím jsme praxi potvrdili teorií. Díky použití mezikroužků jsme docílili potřebné zkrácení minimální zaostřovací vzdálenosti i za cenu menšího rozsahu zaostření. Vzhledem k rozměrům samotných kondenzátorů je rozsah ostření 12,5mm plně dostačující.

3.4 Výběr osvětlení

Vzhledem k rozměrům kondenzátorů a rychlosti pásů bylo nutné vybrat takové osvětlení, které by dostatečně osvětlilo danou součástku za daný čas. Vybráno bylo z logických důvodů bodové osvětlení, které je schopné osvětlit velmi intenzivně malé plochy.

Problém v tomto případě nastal ve výběru barvy světla. Většina snímačů kamer jsou díky své spektrální citlivosti nejcitlivější na vlnovou délku světla okolo 500nm. Musíme však brát v potaz také to, že dopadající fotony na snímací čip vybudí ze základního stavu v polovodičové vrstvě elektrony do excitovaného stavu. Platí, že daný počet fotonů vybudí přibližně stejný počet elektronů. Množinu takto excitovaných elektronů následně zesilovač převede na určitou napěťovou úroveň pro následné zpracování.

Logicky vzato díky spektrální citlivosti snímačů by bylo nejvhodnější použití osvětlovače v zelené barvě, kde je snímač schopen nejefektivněji vybudit při dopadu fotonů nejvíce elektronů.

Velkou roli zde hraje i počet fotonů svazku daného světla. Počet fotonů světla červeného světla je přibližně o 40% více než ve svazku zeleného světla. Toto si lze jednoduše dokázat pomocí následujících výpočtů 4.7 a 4.8.

Mějme osvětlení s výkonem $P = 10\text{ W}$, časem svícení $t = 1\text{ s}$ a vlnovou délkou světla $\lambda = 500\text{ (700) nm}$. Jaký počet fotonů vyše osvětlení za 1 sekundu?

$$N_{\text{Green}} = \frac{W}{E} = \frac{P \cdot t}{h \cdot f} = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c} = \frac{10 \cdot 1 \cdot (500 \cdot 10^{-9})}{(6,626 \cdot 10^{-34}) \cdot (3 \cdot 10^8)} = 2,515 \cdot 10^{19} \quad (4.7)$$

$$N_{\text{Red}} = \frac{W}{E} = \frac{P \cdot t}{h \cdot f} = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c} = \frac{10 \cdot 1 \cdot (700 \cdot 10^{-9})}{(6,626 \cdot 10^{-34}) \cdot (3 \cdot 10^8)} = 3,52 \cdot 10^{19} \quad (4.8)$$

Kde h je Planckova konstanta, f frekvence, c rychlost světla ve vakuu a λ je vlnová délka.

Podle vztahu $E = h \cdot f$ energie jednoho fotonu,

podle vztahu $W = P \cdot t$ práce, která je rovná energii vyzářené žárovkou a

podle vztahu $f = \frac{c}{\lambda}$ mezi frekvencí a vlnovou délkou.

Z výsledků je jasně viditelné, že světelný svazek červeného světla obsahuje přibližně o 10 trilionů fotonů více než svazek světla zeleného při výkonu osvětlení 10W a času svícení 1s. Z tohoto důvodu může při použití červeného osvětlovači světla dopadnout na snímač mnohem více světla než při použití světla zeleného. Z tohoto důvodu bylo vybráno bodové osvětlení s vlnovou délkou 700nm červeného světla.

4 Implementace SW komponent do aplikace pro zpracování obrazu

Jelikož jsem již spolupracoval na dvou kopiích zařízení ELVIS na kontrolu vad kondenzátorů, tak na každé z těchto kopií jsem se podílel v odlišných oblastech. Na prvním testeru kondenzátoru bylo mým hlavním úkolem vytvoření tří testovacích modulů, které testují vlastnosti kondenzátorů. Na druhé verzi testeru kondenzátorů bylo nutné upravit původní verzi aplikace Unitesteru novým verzím programovacího prostředí LabVIEW a implementovat nové funkce na zpracování obrazu.

4.1 Rozsah zásahu do úpravy Unitesteru

První verze aplikace Unitester pro ELVIS1 byla programována v programovacím prostředí NI LabVIEW verze 8.6 s přídatnými NI moduly. Druhá verze testeru kondenzátorů měla vyšší cíle v podobě dosažení vyšší produktivity, a proto bylo nutné použít nových verzí LabVIEW, NI modulů a funkcí pro rychlejší zpracování obrazu. Jelikož testovací software Unitester byl implementován ve verzi 8.6, tak bylo nutné Unitester upravit pro použití v nové verzi programovacího prostředí a modulů NI LabVIEW 2011. Aby Unitester fungoval i pod novou verzí NI LabVIEW a NI modulů, bylo nutné abych upravil a přizpůsobil stávající kód Unitesteru a naimplementoval nové, rychleji pracující, algoritmy a kusy kódů pro rychlejší zpracování obrazu z kamer.

Při této úpravě Unitesteru na nové verze NI LabVIEW se vyskytlo mnoho chyb, kdy přibližně 30% těchto chyb bylo způsobeno v naimplementovaném FPGA poli. Zbytek chyb se projevoval v jednotlivých modulech Unitesteru včetně samotného Unitesteru. Většinu chyb, které mě při úpravách doprovázely, jsem úspěšně vyřešil. U chyb, kde hrálo velkou roli mít dobré znalosti v naimplementovaném FPGA poli, jsem využil rad kolegy, který byl patronem celého tohoto ELVIS projektu na testování kondenzátorů.

Úpravy Unitesteru pro použití v novém programovacím prostředí LabVIEW 2011 bylo nutné provést v přibližně 40-50% celkového kódu aplikace. Jelikož Unitester je velmi komplexní aplikace s více než šesti tisíci funkcemi, celá transformace Unitesteru do nové verze mi trvala s ověřením funkčnosti a ošetřením všech chyb téměř jeden měsíc.

Úpravy se týkaly všech hlavních částí - hlavní aplikace Unitesteru, měřící jádra, všechny používané moduly Unitesteru a funkce s nimi spojené. Veškeré úpravy jsem následně důkladně testoval, abych mohl zaručit 100% funkčnost.

4.2 Vytvořené moduly

Moduly v aplikaci Unitester lze rozdělit do tří skupin.

- Měřicí moduly
- Informační moduly
- Řídící moduly

Měřicí moduly vykonávají měření podle použitého algoritmu a následně vyhodnocují výsledky testu. Informační moduly se starají o zobrazení aktuálního stavu zařízení, testů či výsledků testů. Řídící moduly jsou moduly, které umožní obsluze ovládat, řídit, konfigurovat činnost aplikace či stroje.

Všechny vytvářené moduly musí vyhovovat struktuře algoritmů aplikace Unitester pro korektní komunikaci aplikace s moduly. Moduly se také vytvářejí co nejuniverzálněji pro možné budoucí uplatnění modulu v jiných projektech. Měřicí moduly jsou zpravidla programovány přímo pro danou měřenou úlohu avšak většina informačních a část řídících modulů vytvořených v minulosti je opakovatelně používáno v mnoha projektech.

Při vytváření měřících modulů je většinou do algoritmu modulu zahrnut i algoritmus pro vyhodnocení testů. Vzhledem k rychlostem taktu stroje ELVIS rovnající se průchodu devíti kondenzátorů za sekundu a velkému počtu modulů/testů bylo nutné kvůli výkonnosti a času umístit všechny algoritmy vyhodnocení testů do jednoho místa.

Tímto místem, kde se vyhodnocují veškeré testy, bylo měřicí jádro. Jednotlivé měřicí moduly se tedy realizovaly jako moduly řídící. Tyto moduly se starají o sběr hodnot definovaných v uživatelském rozhraní modulů a posílání těchto hodnot měřicímu jádru. Po provedení testů v měřícím jádře dojde k odeslání změřených hodnot do daného modulu. Příchozí data od měřicího jádra si modul převezme, zobrazí v uživatelském rozhraní, vyhodnotí změřené výsledné hodnoty podle mezí a zobrazí konečný výsledek testu.

Moduly využívají funkcí knihovny NI VISION Development module a jsou předpřipraveny na kontrolu zákazníkem definovaných typů čipů kondenzátorů. Algoritmy je možné jednoduše upravit pro případ budoucího přidání nového typu kondenzátoru pro testování.

4.2.1 Modul - Rozměry součástky

Modul „Rozměr součástky“ slouží ke změření horizontálního a vertikálního rozměru kondenzátoru. Modul navíc dokáže měřit úhel natočení kondenzátoru na pásu vůči obrazu.

K měření rozměrů kondenzátoru se využívá funkcí pro hledání hran. V obrazu se hledají všechny strany kondenzátorů, od kterých se následně vypočítávají vzdálenosti horizontální a vertikální.

Úhel natočení se měří díky tomu, že při větších natočení kondenzátoru než pár jednotek stupňů dochází ke změně lomu světla na kondenzátoru. Při velkém natočení kondenzátoru tak dochází nejčastěji k přeexpozici oblasti keramiky kondenzátorů. Tento jev pak negativně ovlivňuje vyhodnocení testů kontrolující vady na keramice.

4.2.1.1 Popis čelního panelu

Kamera 112

Kamera 1

☒ Použít test ☐ Pixely?

Velikost horizontální		<input checked="" type="checkbox"/> Použít?
Minimum	Změřeno	Maximum
200,00	214,63	220,00

Velikost vertikální		<input checked="" type="checkbox"/> Použít?
Minimum	Změřeno	Maximum
100,00	110,24	115,00

Úhel natočení součástky		<input checked="" type="checkbox"/> Použít?
Minimum	Změřeno	Maximum
-4,00	-0,05	2,00

☒ Zobrazit proložené přímky?

☐ Zobrazit opsaný čtverec?

☒ Zobrazit nalezené hrany?







☐ Zobrazit střed?

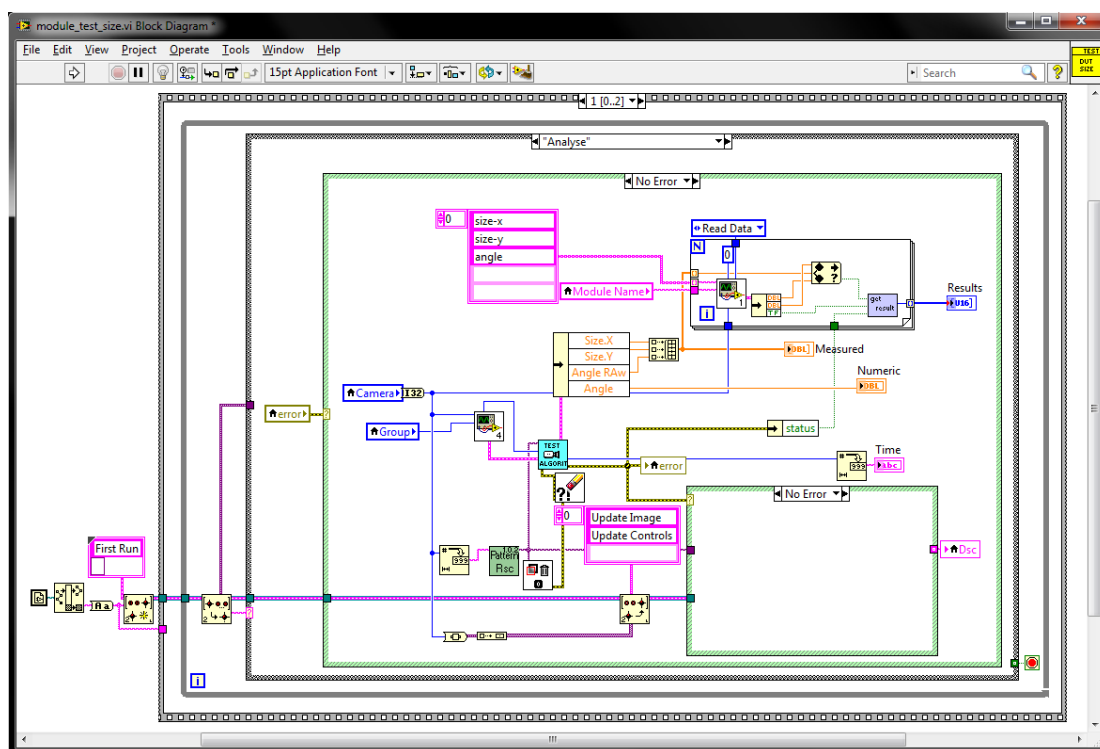
<<<< 33/50 >>>>

Vyhodnotit buffer kamery

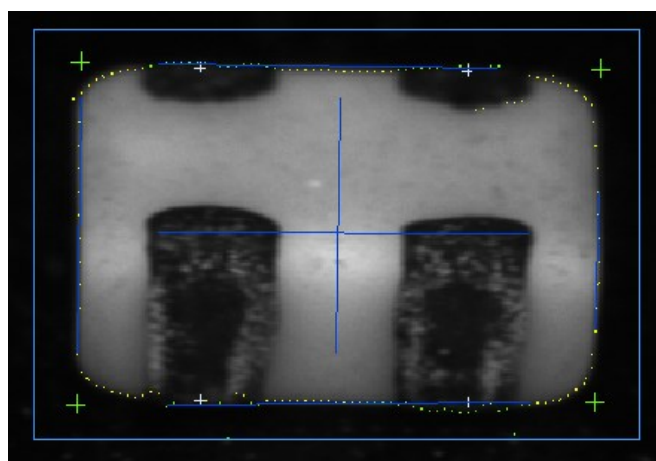
Obrázek 18: Uživatelské rozhraní modulu Rozměr součástky

Tabulka 5: Popis prvků modulu Rozměr součástky

	Výběr kamery
<input checked="" type="checkbox"/> Použít test	Použití daného testu
<input type="checkbox"/> Pixely?	Přepočet hodnot na počet pixelů obrazu
	<p>Změřený horizontální rozměr kondenzátoru.</p> <p>Pro dobrý kus kondenzátoru nesmí být překročeno definované minimum a maximum horizontálního rozměru kondenzátoru.</p>
	<p>Změřený vertikální rozměr kondenzátoru.</p> <p>Pro dobrý kus kondenzátoru nesmí být překročeno definované minimum a maximum vertikálního rozměru kondenzátoru.</p>
	<p>Změřené natočení kondenzátoru.</p> <p>Pro dobrý kus kondenzátoru nesmí být překročeno definované minimum a maximum natočení kondenzátoru.</p>
<input checked="" type="checkbox"/> Zobrazit proložené přímky?	Checkbox sloužící k zobrazení proložených přímek.
<input type="checkbox"/> Zobrazit opsaný čtverec?	Checkbox sloužící k zobrazení opsaného čtverce kondenzátoru.
<input checked="" type="checkbox"/> Zobrazit nalezené hrany?	Checkbox sloužící k zobrazení nalezených hran kondenzátoru.
<input type="checkbox"/> Zobrazit střed?	Checkbox sloužící k zobrazení středu kondenzátoru.
	Prvky sloužící k procházení bufferu s obrázky kondenzátorů
	Tlačítko sloužící k otestování daného obrázku daným testem.



Obrázek 19: Ukázka kódu modulu Rozměr součástky



Obrázek 20: Zobrazení nalezených hran kondenzátoru

4.2.2 Modul – Vzdálenost terminací

Modul „Vzdálenost terminací“ umožňuje měření vzdálenosti mezi jednotlivými sousedícími terminacemi, tak i vzdálenost mezi jednotlivými páry terminací.







Hledání horizontálních vzdáleností mezi terminacemi probíhá tak, že se najdou pozice jednotlivých terminací, které jsou definované obdélníkem se čtyřmi body. Vytvoří se přímky levých a pravých stran terminací a následně se zjistí středy těchto přímek. Vzdálenost se měří mezi sousedícími středy. Výsledek je počet vzdáleností mezi terminacemi, který roven počtu terminací mínus jedna.

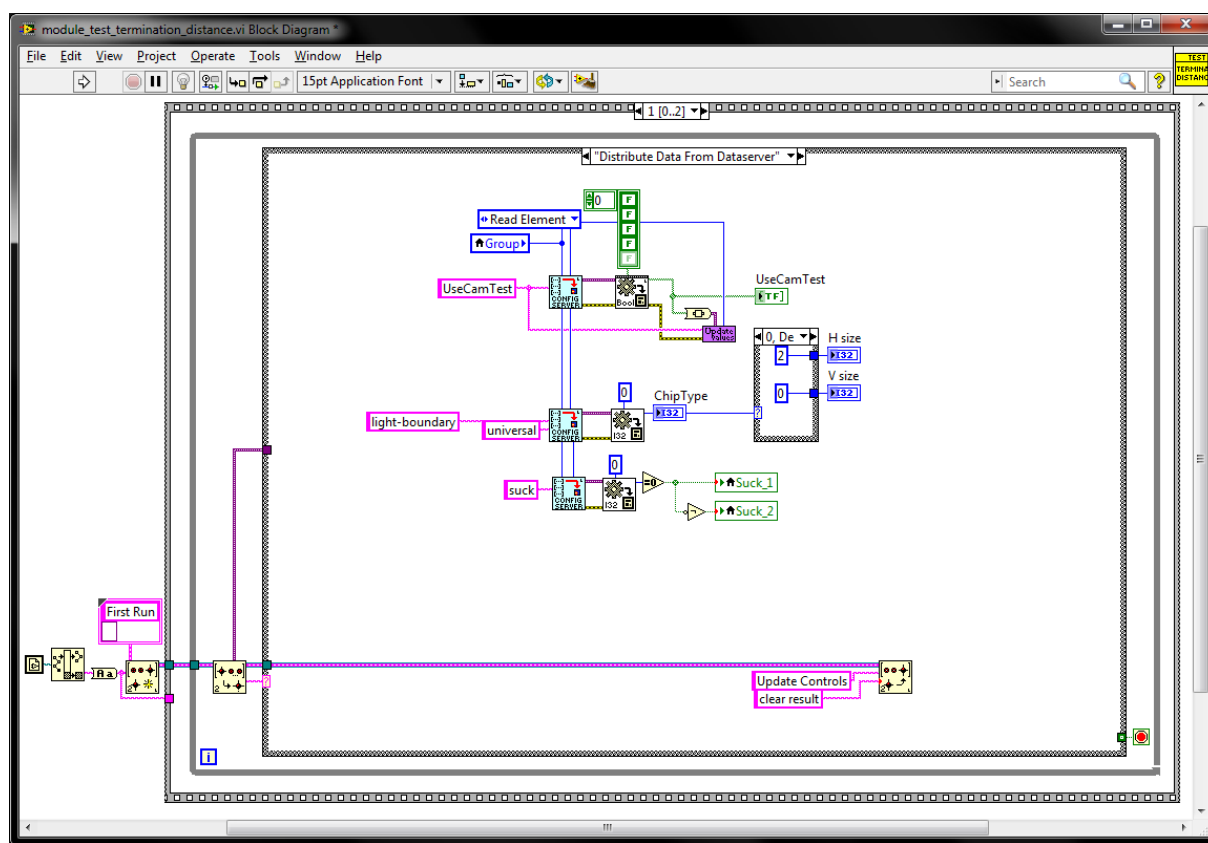
Měření vertikální vzdálenosti probíhá téměř analogicky s měřením vzdálenosti horizontální jen s tím rozdílem, že se porovnávají terminace jednoho páru. Výsledkem je počet vzdáleností mezi terminacemi, který je roven počtu terminací.

4.2.2.1 Popis čelního panelu

Obrázek 21: Uživatelské rozhraní modulu Vzdálenost terminací

Tabulka 6: Popis prvků modulu Vzdálenost terminací

	Výběr kamery
<input checked="" type="checkbox"/> Použít test	Použití daného testu
<input type="checkbox"/> Pixels?	Přepočet hodnot na počet pixelů obrazu
	<p>Změřené vzdálenosti mezi sousedícími terminacemi.</p> <p>Pro dobrý kus kondenzátoru nesmí být překročeno definované minimum a maximum vzdálenosti pro jednotlivé vzdálenosti mezi sousedícími terminacemi.</p>
	<p>Změřené vzdálenosti mezi jednotlivými páry terminací.</p> <p>Pro dobrý kus kondenzátoru nesmí být překročeno definované minimum a maximum vzdálenosti pro jednotlivé vzdálenosti mezi jednotlivými páry terminací.</p>
	Výsledek testu
	Prvky sloužící k procházení bufferu s obrázky kondenzátorů
	Tlačítko sloužící k otestování daného obrázku daným testem.



Obrázek 22: Ukázka kódu modulu Vzdálenost terminací

4.2.3 Modul – Mezi terminacemi

Modul „Mezi terminacemi“ slouží k detekci vad nacházejících se na keramice kondenzátoru mezi terminacemi. Algoritmus funguje na principu hledání hran pomocí hledacích čar. Oblast mezi terminacemi je proložena vertikálními hledajícími čarami, které vyhledávají v oblasti hrany. Jelikož vady na keramice se projevují tmavými skvrnami, tak hledání hran probíhá na hranu sestupnou. Hledací čáry tedy detekují pokles jasu, přechod z bílé do černé. Algoritmu lze definovat jakou sílu přechodu/hrany musí mít skvrna na keramice, aby ji bylo možné označit za vadu. V modulu lze také nastavit rozestupy jednotlivých hledacích hran od sebe a také nastavit crop faktor, kterým určíme vzdálenost hran měřící oblasti od hran terminací. Tvar terminací není ideálně rovný a samotné terminace mohou zasáhnout do oblasti, kde se hledají vady na keramice.

4.2.3.1 Popis čelního panelu

Kamera ☒ Použit test
Kamera 1

Počet nalezených hran ☒ Použit test
Maximum

Změřeno 0,00

Změřeno 2,00

Změřeno 5,00

Změřeno 7,00

Změřeno 9,00

Crop Faktor 10,00 Síla hrany 30,00

Mezera mezi hranami 1,00

☒ Zobrazit hledací čáry?




☒ Zobrazit hrany?

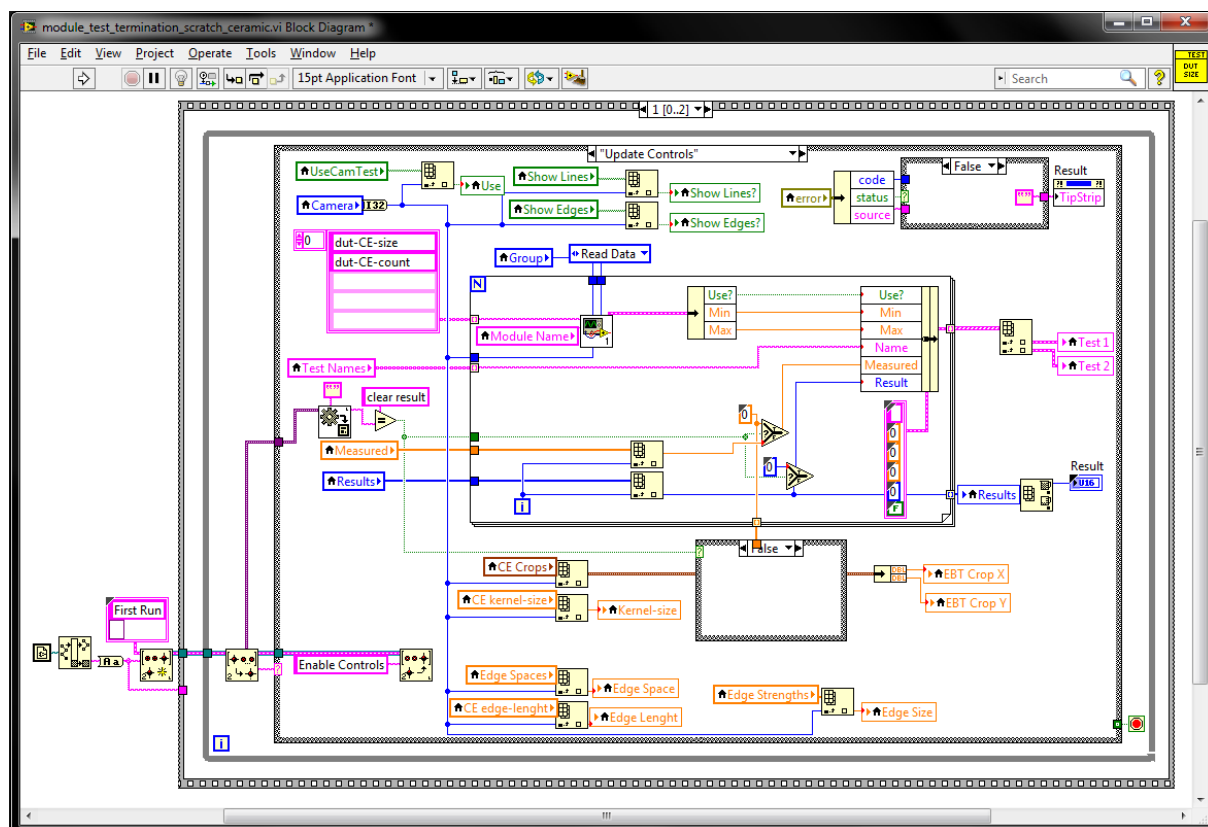
<<<<< 23/30 >>>>>

Vyhodnotit buffer kamery

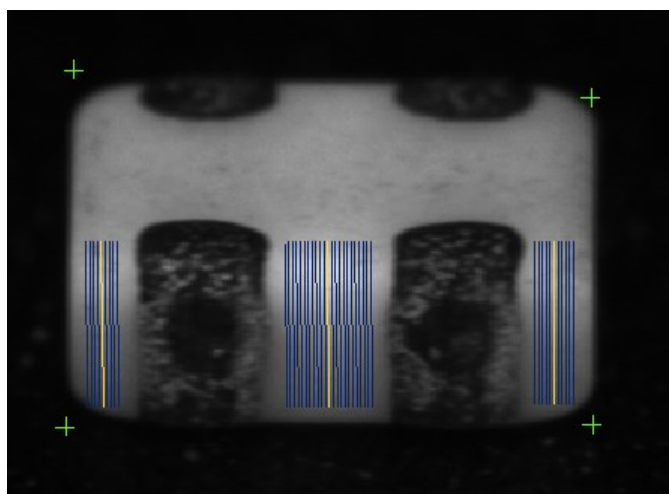
Obrázek 23: Uživatelské rozhraní modulu Mezi terminacemi

Tabulka 7: Popis prvků modulu Mezi terminacemi

	Výběr kamery
<input checked="" type="checkbox"/> Použít test	Použití daného testu
<p>Počet nalezených hran <input checked="" type="checkbox"/> Použít test</p> <p>Změřeno 0,00 <input checked="" type="checkbox"/> Maximum 10,00</p> <p>Změřeno 2,00 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Změřeno 5,00 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Změřeno 7,00 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Změřeno 9,00 <input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>Počty nalezených hran na jednotlivých hledacích čárách.</p> <p>Pro dobrý kus kondenzátoru nesmí být překročen definovaný maximální počet hran na jednotlivých hledacích čárách.</p>
<p>Crop Faktor</p> <p>10,00</p>	Faktor, který zmenšuje oblast hledání vad směrem od hran terminací.
<p>Síla hrany</p> <p>30,00</p>	Hodnota, definující jak velký musí být přechod z bílé do černé, aby došlo k detekci vady.
<p>Mezera mezi hranami</p> <p>1,00</p>	Vzdálenost mezi jednotlivými hledacími čárami.
<input checked="" type="checkbox"/> Zobrazit hledací čáry?	Checkbox sloužící k zobrazení hledacích čar.
<input checked="" type="checkbox"/> Zobrazit hrany?	Checkbox sloužící k zobrazení nalezených hran.
	Výsledek testu
	Prvky sloužící k procházení bufferu s obrázky kondenzátorů
<p>Vyhodnotit buffer kamery</p>	Tlačítko sloužící k otestování daného obrázku daným testem.



Obrázek 24: Ukázka kódu modulu Mezi terminacemi



Obrázek 25: Oblasti hledání vad mezi terminacemi

5 Instalace a oživení vyvinuté softwarové aplikace na platformě průmyslového PC

K oživení zařízení k testování kondenzátorů v softwarové oblasti je nutné, aby byl stroj mechanicky hotový a připravený. Všechny elektrické a mechanické části měli na starosti lidé tomu pověřeni. Mým úkolem bylo na stroji oživit kamerové systémy, osvětlení, oživení Unitester aplikace se všemi moduly na vyhodnocovacím počítači a seřízení čidla přítomnosti a posuvného pásu s FPGA polem.

5.1 Oživení kamerového systému

Vzhledem k tomu, že kamery musely být umístěny přibližně 20 centimetrů od posuvného pásu a v 60° úhlu od pásu, tak bylo nutné vymyslet jak tyto kamery v definované pozici upevnit. K tomu, abych mohl upevnit kameru na dané místo, jsem využil montážního systému Balluff. Po hrubém nastavení pozice kamer bylo nutné tyto kamery propojit s vyhodnocovacím počítačem. Kabely FireWire, standard rozhraní kamery, bylo nutné vést skrz upevňovací lišty v zařízení až do počítače s instalovanou FireWire kartou. Po propojení kamer s počítačem bylo nutné z kamer získat obraz, aby bylo možné jemně donastavit pozici kamery. Po mechanickém nastavení pozice kamery bylo nutné odzkoušet jaký objektiv použít pro tuto metodu snímání. Tato problematika výběru optické soustavy je popsána v kapitole 3.3 – Výběr optické soustavy.

5.2 Oživení osvětlení pozic

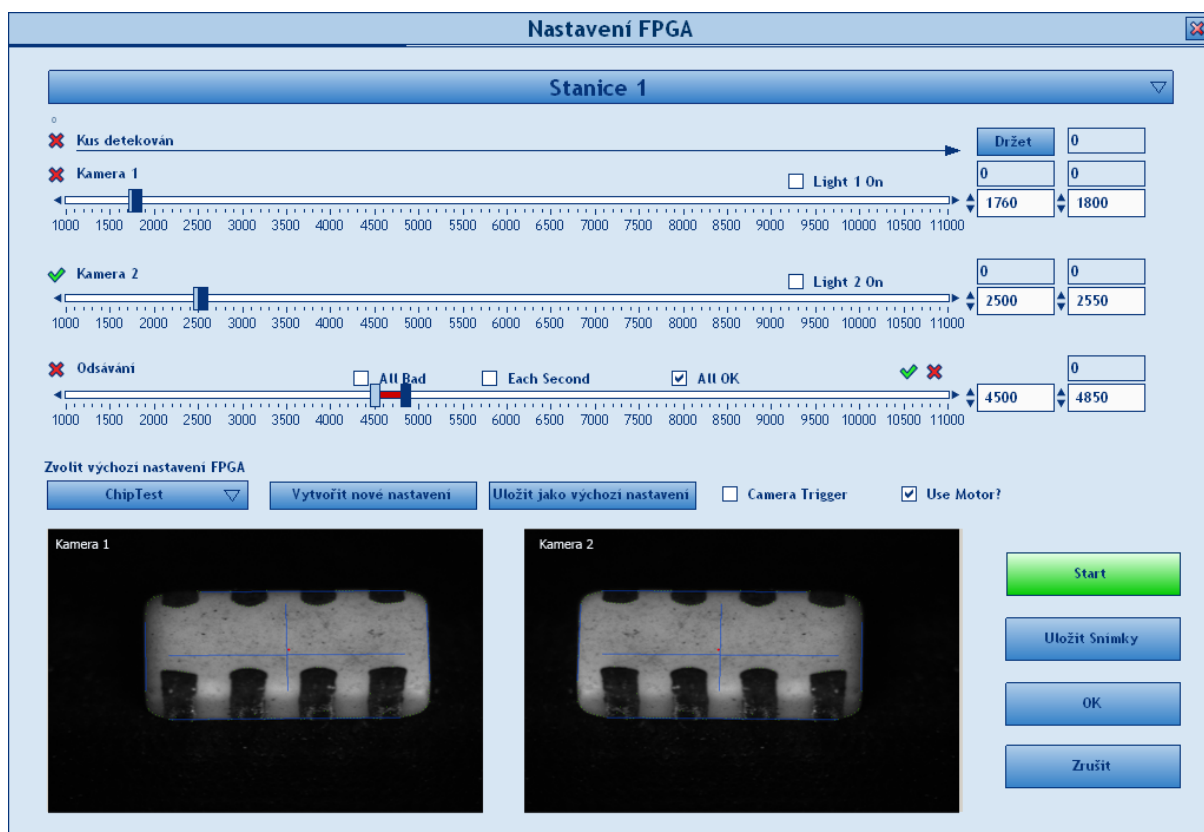
Na jednotlivých pozicích bylo nutné instalovat i jednotlivé osvětlení pro osvětlení kondenzátorů. Osvětlení bylo připevněno pomocí montážního systému Balluff v místech, kde jednotlivé světla dokázala osvětlit celou plochu kondenzátoru. Výběr typu a barvy osvětlení je detailně popsáno v kapitole 3.4 – Výběr osvětlení.

5.3 Oživení softwaru

K oživení aplikace Unitester s moduly na vyhodnocovacím počítači bylo nutné na počítač nainstalovat všechny nutný software společnosti National Instrument. K tomu, aby aplikace a všechny moduly Unitesteru fungovaly, bylo nutné nainstalovat:

- Programovací prostředí LabVIEW
- Vision Development Module (NI VDM)
- Vision Acquisition Software (NI VAS)
- Data Acquisition (NI DAQ)
- FPGA Module (NI FPGA)
- FPGA Module Xilinx Tools

Po instalaci všech nezbytných podpůrných programů k zajištění bezproblémového chodu aplikace Unitester na vyhodnocovací počítač bylo nutné odzkoušet všechny funkce nutné k řízení všech nezbytných mechanických částí zařízení. Po ověření funkčnosti aplikace s moduly bylo nutné v řídicím modulu pro ovládání FPGA pole nastavit pro jednotlivé měřicí stanice jednotlivé časové rozmezí mezi čidlem přítomnosti, kamerou a odfukem. Tyto hodnoty definovaly, za jaký čas po průjezdu kondenzátoru pod čidlem přítomnosti se mělo zapnout osvětlení s triggrem kamer k zachycení obrazu či zapnutí odfuku. Definoval se také časový rozsah, po jakou dobu mělo být osvětlení a odfuky zapnuty.



Obrázek 26: Modul pro nastavení FPGA pole

V modulu nastavení FPGA na obrázku 26 bylo nutné zadat takové hodnoty, aby kamery triggrovaly obraz v ten správný moment, kdy byl kondenzátor přímo pod kamerou. Velmi důležité bylo nastavení hodnot pro odsávání kondenzátorů, protože vzduch se při odvodu každého kondenzátoru chová trochu jinak. Náběžná i sestupná hrana proudění vzduchu není vždy stejná a čas průběhu také není v tomto stejný. Občas se stává, že sestupná hrana proudění vzduchu odvodu trvá déle než je potřeba a sfoukne navíc i následující kondenzátor.

Problém s odvodem více kondenzátorů se musel řešit kompromisem mezi taktem stroje a správným počtem odvednutých kondenzátorů. Maximální takt testeru kondenzátorů je přibližně 13-14 kondenzátorů za sekundu. V tomto maximální taktu stroje se velmi často stávalo, že byly sfukovány kondenzátory, které sfouknuty být neměly. Stávalo se to proto, jelikož vzdálenosti mezi jednotlivými kondenzátory byly příliš malé na to, aby byly korektně sfukovány jen ty kondenzátory, které byly vadné. Proto bylo přistoupeno k metodě, kdy dochází k malému počtu sfouknutých kondenzátorů za cenu menšího taktu pohybující se okolo devíti kondenzátorů za sekundu. I při taktu devíti kondenzátorů za sekundu se v jednom případě pro tisíc otestovaných kondenzátorů stane, že je sfouknut kondenzátor, který být sfouknut neměl. Toto však vzhledem k množství kondenzátorů, které

stroj zkontroluje, ničemu nevádí. Důležité je si uvědomit, že se sfukují kondenzátory navíc. Mnohem horší situace by nastala, kdyby se korektně nesfukovaly kondenzátory s vadami a ty by se dostaly do protříděných dobrých kondenzátorů.

5.3.1 Testování funkčnosti testů modulů

K otestování jednotlivých modulů bylo nutné mít k dispozici obrazová data kondenzátorů. Obstarání obrazových dat a odzkoušení funkčnosti modulů mohlo být provedeno několika metodami. Jednou z těchto metod byla možnost nasnímat několik obrázků skrz firemní software výrobce průmyslových kamer Basler Pylon a výsledné obrazová data nahrát do aplikace manuálně díky simulovanému režimu aplikace Unitester. Více o simulovaném režimu v kapitole 2.4 – Unitester.

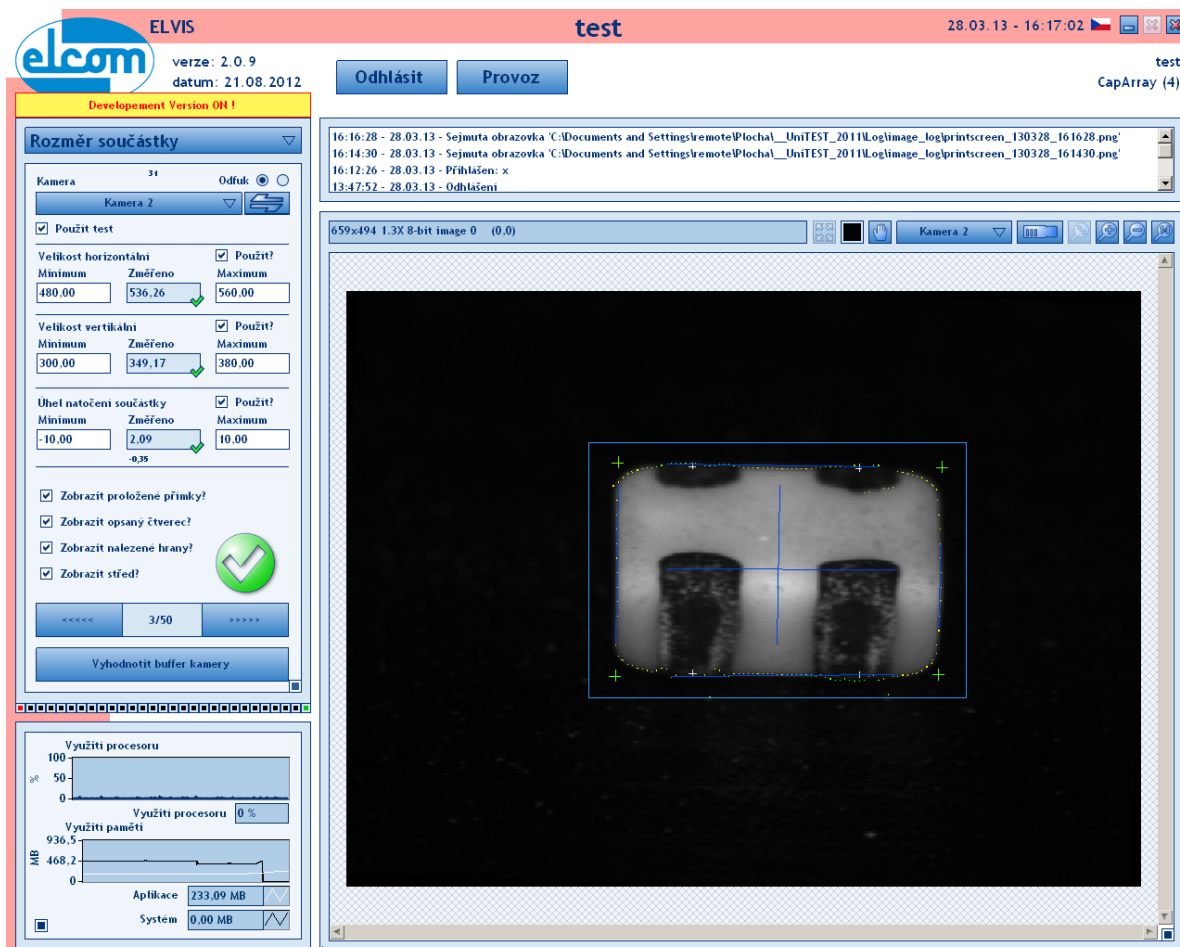
Mnohem rozumnější cestou bylo vyzkoušet funkčnost aplikace Unitester a modulů přímo na vyhodnocovacím počítači zařízení ELVIS. To proto, že se v simulovaném režimu nemusí podchytit veškeré problémy a chyby s FPGA či kamerovým systémem, který se nebere v simulovaném provozu Unitesteru v potaz.

Získání obrazových dat kondenzátorů v Unitesteru lze dvěma způsoby. Jedním způsobem je pustit Unitester v provozním režimu a nechat projet zařízením několik kondenzátorů. Tím, že necháme zařízením projet pár kondenzátorů, zajistíme nasnímání obrazových dat kondenzátorů do aplikace Unitester, kde s těmito daty můžeme následně pracovat. Aplikace Unitester, přesněji měřicí jádro, dovoluje nasnímat do bufferu obrázků pro každou měřicí stanici a každou kameru až 50 obrázků kondenzátorů. S těmito obrázky lze pak odzkoušet jednotlivé moduly v servisním režimu aplikace Unitester.

Druhá metoda využívá služby speciálního modulu, který umožní projet každou pozicí právě padesát kondenzátorů k naplnění obrázkového bufferu.

Rozdíl mezi těmito dvěma metodami je ten, že u druhé metody využívající, speciálního modulu, nedochází k vyhodnocování měřících testů jako u metody první. U druhé metody dochází jenom k nasnímání obrazových dat.

Na nasnímaných obrazových datech se následně v servisním režimu aplikace Unitester dala otestovat funkčnost samotného modulu a hlavně jeho algoritmu.



Obrázek 27: Ukázka naměřených hodnot rozměrů kondenzátoru z obrazu

5.3.2 Statistika výsledků

Samotná výtěžnost stroje se pohybuje v rozmezí 85-95%. Velmi záleží na podmínkách, které musí dané kondenzátory splňovat. Pokud jsou zákazníkem požadovány kondenzátory, které nemusí splňovat přísné normy, tak může být výtěžnost stroje blíží se 100%. Samotné testy jsou však nastaveny tak, aby se výtěžnost pohybovala okolo definovaných 90% a eliminovaly se jen ty vzhledově nejhorší kondenzátory a kondenzátory, které mají nějaké chyby v terminacích kondenzátorů. Těchto špatných kondenzátorů se pohybuje okolo 10%. Výtěžnost se také velmi odvíjí od samotných druhů kondenzátorů. Pokud testujeme kondenzátory se čtyřmi páry terminací, je čtyřikrát pravděpodobnější, že tyto kondenzátory budou mít nějakou chybu v terminacích než kondenzátory s jedním párem terminací.

Pokud by byla výtěžnost stroje při definovaných podmínkách pro kontrolu menší než 75%, znamenalo by to, že nastal nějaký problém v procesu výroby kondenzátorů, který by se měl řešit.

Statistika špatných kondenzátorů eliminovaných na testech modulů Mezi terminacemi, Vzdálenost terminací a Rozměry součástky je možné porovnat v tabulce 8. K otestování výtěžnosti tří modulů bylo využito kondenzátorů se čtyřmi páry terminací s označením CapArray (4) v počtu 2536 kusů. Na tomto vzorku kondenzátorů bylo měření provedeno celkem třikrát pro každý test modulu. Jednotlivé výsledné počty roztrížených kondenzátorů se ve všech třech měřeních shodovaly. Jednotlivá měření trvala zřízení přibližně 5 minut, což odpovídá při daném množství kondenzátorů taktu devíti kondenzátorů za sekundu.

Nastavení jednotlivých modulů

- **Modul Rozměry součástky**
 - Velikost horizontální
 - Minimum: 200
 - Maximum: 220
 - Velikost vertikální
 - Minimum: 100
 - Maximum: 115
 - Úhel natočení součástky
 - Minimum: -4
 - Maximum: 2

- **Modul Vzdálenost terminací**
 - Vzdálenost horizontální
 - Minimum: 20
 - Maximum: 27,5
 - Vzdálenost vertikální
 - Minimum: 47,5
 - Maximum: 65

- **Modul Vzdálenost terminací**
 - Počet nalezených hran
 - Maximum: 10
 - Crop Faktor
 - Hodnota: 10
 - Síla hrany
 - Hodnota: 32
 - Mezera mezi hranami
 - Hodnota: 1

Tabulka 8: Statistika výtěžnosti kondenzátorů jednotlivých modulů

Celkový počet kusů: 2536	Moduly		
	Rozměry součástky	Vzdálenost terminací	Mezi terminacemi
Výtěžnost	86%	93%	95%
Počet špatných kusů	355	178	127
Počet dobrých kusů	2181	2358	2409

6 Zhodnocení a závěr

V rámci diplomové práce jsem se podílel na vývoji již dvou zařízení na kontrolu kondenzátorů typu ELVIS. Spolupracoval jsem i na dvou zařízeních zvaných POLARIS, které testují pouze základní parametry kondenzátorů. Zařízení POLARIS by se dalo označit jako mnohem jednodušší tester ELVIS, co se testovaných parametrů týče.

Během tříletého působení ve firmě ELCOM, a.s. jsem se podílel na mnoha projektech. Projekt ELVIS byl však jeden z těch zajímavějších projektů, o kterém mi bylo dovoleno psát diplomovou práci. Existují projekty, na kterých jsem se podílel i z větší části než na jaké jsem se podílel v případě projektu ELVIS. Bohužel však u těchto projektů mi bylo publikování zamítnuto.

Pro ELVIS tester kondenzátorů jsem vytvořil celkem tři nové moduly a spolupracoval na vývoji ostatních modulů a aplikace. Velmi důležitou prací také bylo následné testování softwaru, mechaniky zařízení, následné hledání a řešení vzniklých chyb.

Funkci těchto tří vytvořených modulů je možno vyzkoušet spolu s aplikací Unitester. Celá aplikace je dostupná na CD/DVD jako DEMO ukázka softwaru. Vše nutné k spuštění aplikace je popsáno v příloze A.

Aplikace Unitester použitá v projektech ELVIS čítá celkem 36 modulů. Z toho celkem 17 modulů jsou moduly měřicí, které provádějí testy na nasnímaných obrázcích. Na jednom kondenzátoru se testuje celkem 166 různých parametrů. Dalo by se říci, že se na kondenzátorech měří vše, co lze otestovat pomocí optického bezkontaktního měření. Jediné co nelze tímto zařízením testovat jsou elektrické vlastnosti kondenzátorů.

Všechny práce na projektu ELVIS a na projektech jiných byly z mé stany splněny. Obě zařízení ELVIS i zařízení POLARIS jsou již oživena přímo u zákazníka a plní svojí funkci kontroly a třídění kondenzátorů. Oba stroje třídí různé typy kondenzátorů dvacet čtyři hodin denně sedm dní v týdnu.

Použitá literatura

- [1] R. Jennings, „Fire on the Wire: The IEEE 1394 High Performance Serial Bus,“ 1995.
[Online]. Available: <http://files.keyfax.com/mlancentral/firewire.pdf>.
- 2] T. P. Klinger, „Image Processing with LabVIEW™ and IMAQ™ Vision,“ Prentice Hall PTR, 2003.
- 3] „IEEE 1394-1994 Standard for a High Performance Serial Bus,“ [Online]. Available:
http://www.hitech-projects.com/euprojects/smash/deliver/del12/del12_ch1+2.htm.
- 4] „FireWire 800 Technical Specifications,“ [Online]. Available:
<http://firewirestuff.com/techspec800.html>.
- 5] I. T. Association, „FireWire Reference Tutorial,“ 1394 Trade Association , 2010.
[Online]. Available:
<http://www.1394ta.org/press/WhitePapers/Firewire%20Reference%20Tutorial.pdf>.
- 6] V. Moorthy, „Gigabit Ethernet,“ Washington University in St.Louis, [Online]. Available:
http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-97/ftp/gigabit_ethernet/index.htm#Hist.
- 7] „What is the Difference Between Vision Software VDM, VBAI, and VAS?,“ 27 12 2012.
[Online]. Available:
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/45A5682F377996BB862572B50072787F>.
- 8] „Virtuální instrumentace,“ 2011. [Online]. Available:
http://rccv.vsb.cz/kurzy_ukazka/d7_02_demo.pdf.
- 9] „What Is LabVIEW?,“ NI, 18 10 2010. [Online]. Available:
<http://zone.ni.com/devzone/cda/pub/p/id/1141>.
- 10] „Seznam příkladů,“ [Online]. Available:
http://measure.feld.cvut.cz/groups/edu/osv/optika/Priklady_index.html.
- 11] O. Čada, „Ohnivý drát,“ [Online]. Available:
http://www.ocs.cz/text/AV_HA/IEEE1394.html.

Seznam příloh

Příloha.A: Demo softwaru Unitester s vytvořenými moduly.....I

Součástí BP/DP je CD/DVD.

Příloha.A: Demo softwaru Unitester s vytvořenými moduly

Program na DVD

Adresář: \Demo_aplikace\UniTESTER\unitester.exe

K spuštění aplikace Unitester je nutné stáhnout složku \Demo_aplikace\UniTESTER stáhnout na pevný disk počítače.

Minimální softwarové požadavky na spuštění aplikace Unitester:

- LabVIEW Run-Time Engine 2011
- NI Vision Development Module Run-Time
- NI-DAQmx Run-Time Engine

Přihlášení do aplikace:

Zakázka: x

Login: x

Heslo: x

Seznam výrobků: CapArray(4)

Zadejte číslo zakázky

Zakázka
x

Login
x

Heslo
*

Seznam výrobků
CapArray (4)

OK Zrušit